

Wertigkeit einer Einzelschicht-Computertomographie in der Akutdiagnostik neurologischer Erkrankungen

Anne Hemalini Reck



INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines **Doktors der Medizin**
des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung des Autors oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2010

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Author or the Publishers.

1st Edition 2010

© 2010 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen
Printed in Germany



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890
email: redaktion@doktorverlag.de

www.doktorverlag.de

**Wertigkeit einer Einzelschicht-Computertomographie
in der Akutdiagnostik neurologischer Erkrankungen**

INAUGURALDISSERTATION
zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Medizin
des Fachbereichs Medizin der
Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

Anne Hemalini Reck (geb. Nadesan)

aus Jaffna / Sri Lanka

Gießen 2009

**Aus dem medizinischen Zentrum für Radiologie des
Uniklinikums Gießen und Marburg GmbH, Standort Gießen
Abteilung Kinderradiologie**

Leiter: Prof. Dr. med. G. Alzen

Gutachter: PD. Dr. Berthold

Gutachter: Prof. Dr. Langheinrich

Tag der Disputation: 30.03.2010

**Für André und
für meinen Vater**

Inhaltsverzeichnis	III
Übersicht über die Tabellen	VI
Übersicht über die Abbildungen	VIII
Abkürzungsverzeichnis	X

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Schädel-CT bei neurologischen Notfällen.....	1
1.2	Risiken der Strahlenexposition.....	4
1.3	Strahlenexposition bei CT-Untersuchungen im Kindesalter.....	5
1.4	Möglichkeiten einer „eingeschränkten“ Diagnostik.....	8
1.5	Fragestellung.....	9
2	Materialien und Methoden	10
2.1	Auswahl des Bildmaterials.....	10
2.2	Datenschutz.....	12
2.3	Abschätzung der Dosis einer Einzelschicht-CT.....	13
2.4	Auswerterinnen und Auswerter.....	14
2.5	Erhebung der Daten für die Analyse der diagnostischen Aussagefähigkeit einer Einzelschicht-Untersuchung.....	15
2.6	Standardisierte Beurteilung der Einzelschicht-Untersuchung durch die Auswerterinnen und Auswerter.....	16
2.7	Bestimmung der Lage des Tomogrammes auf Höhe der Foramina Monroi in einer Schädel-CT.....	18
2.8	Statistische Methoden, Strategie der Auswertung.....	19
2.9	Beurteilung der Reproduzierbarkeit der Auswertung.....	23

3	Ergebnisse	23
3.1	Dosis einer Einzelschicht-CT.....	23
3.2	Analyse des Goldstandards.....	25
3.3	Ergebnisse der Auswerterinnen und Auswerter: ROC-Analyse.....	26
3.4	Ergebnisse der Auswerterinnen und Auswerter: Deskriptive Analyse.....	29
3.4.1	Übereinstimmung des Goldstandards mit den Diagnosen der Auswerterinnen und Auswerter.....	29
3.4.2	„Entscheidungsfreudigkeit“ der einzelnen Auswerterinnen und Auswerter (MRT oder CT).....	30
3.4.3	Kritische und gefährliche Entscheidungen.....	32
3.4.4	Die Beurteilung der Bildqualität.....	34
3.4.5	Diagnostische Fehler in Abhängigkeit von der Diagnose.....	35
3.4.6	Diagnostische Performance bei den Normalbefunden.....	36
3.4.7	Unterschiede der Beurteilung unter Berücksichtigung des Ausbildungsstandes der Auswerterin oder des Auswerter.....	36
3.4.8	Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.....	41
4	Diskussion.....	41
4.1	Methode, Sensitivität, Spezifität und Richtigkeit der Diagnosen....	41
4.2	Ergebnisse und Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Auswerter.....	43
4.3	Fehldiagnosen – wie sind sie zu verstehen?.....	44
4.4	Limitationen der Untersuchung.....	47
4.5	Schlussfolgerung.....	48
5.1	Zusammenfassung.....	51
5.2	Summary.....	53

6	Literaturverzeichnis.....	56
7	Erklärung.....	58
8	Danksagung.....	59
9	Anhang.....	60

Übersicht über die Tabellen

1.1	Glasgow coma scale: Reaktionen des Patienten auf Anruf oder Schmerzreiz und Beurteilung dieser Reaktion (Punkte-Score) für Kinder.....	2
1.2	Wichtige Geräteeinstellungen und CTDIw bei Routine-CT von Kindern am Somatom Balance.....	7
2.1	Beispiele für Indikationen zur CT.....	11
2.2	Beispiele für die endgültige Diagnose.....	12
2.3	Fachrichtung, Ausbildungsstand und Erfahrung der Auswerterinnen und Auswerter in der Notfall-Schädeldiagnostik beim Kind.....	15
2.4	Entscheidungskategorien: Sicherheit der Diagnose „pathologisch“ oder „normal“	17
2.5	Entscheidungskategorien: Qualität der Aufnahmen.....	17
2.6	Diagnoseschlüssel.....	17
2.7	Entscheidungskategorien der Akuitätsbeurteilung.....	18
2.8	Entscheidungskategorie: Weiterführende Diagnostik.....	18
2.9	Beurteilung der Richtigkeit der Diagnosestellung und der richtigen Einschätzung der Akuität.....	20
3.1	Diagnosen der 101 Untersuchungen (Goldstandard) mit Haupt- und Nebendiagnosen.....	25
3.2	Area under curve für die in Abbildung 3.1. gezeigten ROC-Kurven.....	27
3.3	Area under curve für die in Abbildung 3.2. gezeigten ROC-Kurven.....	28
3.4	Häufigkeiten der richtigen Diagnosen (Noten 1 - 3) die Akuität der Erkrankung betreffend, Angaben der Häufigkeiten in % von der Gesamtzahl der vergebenen Noten.....	30
3.5	Anzahl der angeforderten CT und Grad der Erfahrung des Auswerters	31

3.6	Anzahl der Fehlentscheidungen der Auswerterinnen und Auswerter.....	33
3.7	Noten für die Auswerterinnen und Auswerter in Abhängigkeit von der Bildqualität.....	34
3.8	Häufigkeiten der richtigen Diagnosen (Note 1 – 3) in Bezug auf die Akuität der Erkrankung.....	35
3.9	Ergebnisse der Auswertungen: Note 1 – 3 (richtige Akuität) zusammen.....	36
3.10	Frequenz der Noten 1 - 3 bei den Auswerterinnen und Auswertern geordnet nach dem Ausbildungsstand.....	38
3.11	Frequenz „Fehldiagnosen (falsch-positive und falsch-negative)“ nach dem Ausbildungsstand.....	38
9.1	Für die Auswertungen 1 bis 19 bestimmte „Noten“ (nach dem Schlüssel aus Tabelle 2.9). Alle 101 Untersuchungen.....	61
9.2	Für die Auswertungen 1 bis 19 bestimmte „Noten“ (nach dem Schlüssel aus Tabelle 2.9). Nur Normalbefunde.....	62
9.3	Für die Auswertungen 1 bis 19 bestimmte „Noten“ (nach dem Schlüssel aus Tabelle 2.9). 31 akut pathologische Befunde.....	63
9.4	Für die Auswertungen 1 bis 19 bestimmte „Noten“ (nach dem Schlüssel aus Tabelle 2.9). 20 pathologische Befunde ohne akute Bedrohlichkeit.....	64
9.5	Für die Auswertungen 1 bis 19 bestimmte „Noten“ (nach dem Schlüssel aus Tabelle 2.9). 20 Patienten mit der Diagnose Hydrozephalus.....	65
9.6	Für die Auswertungen 1 bis 19 bestimmte „Noten“ (nach dem Schlüssel aus Tabelle 2.9). 9 Patienten mit der Diagnose Blutung	66

Übersicht über die Abbildungen

2.1	Messung der Lage der Schicht durch die Foramina Monroi.....	19
2.2	ROC-Kurve (Beispiel aus der vorliegenden Dissertation).....	22
3.1	ROC-Kurven für alle Auswertungen.....	27
3.2	ROC-Kurven für die Mehrfachauswertung eines Auswerter (Reproduzierbarkeit).....	28
3.3	ROC-Kurven für die Auswertungen ohne die Mehrfachauswertungen.....	29
3.4	Grad der Erfahrung der Untersucher und Anzahl der angeforderten CT-Untersuchungen (von insgesamt 101 Untersuchungen).....	31
3.5	Darstellung der Noten der 16 Auswertungen in Abhängigkeit von der Anzahl der angeforderten CT-Untersuchungen.....	31
3.6	Anzahl der falsch-negativen Fälle, bei denen keine CT angefordert ist, im Zusammenhang mit der Gesamtzahl der CT- Indikationen.....	32
3.7	Grad der Bildqualität und Note der Auswertung (von 1606 Einzelauswertungen).....	35
3.8	Häufigkeit der Noten der Auswerterinnen und Auswerter und Ausbildungsstand.....	37
3.9	Korrelation der Qualität der Noten in der deskriptiven Analyse der Daten und der Fläche unter der Kurve in der ROC-Analyse. Noten 1-3 (in %) für die 16 Auswerterinnen und Auswerter.....	39
3.10	Korrelation der Qualität der Noten in der deskriptiven Analyse der Daten und der Fläche unter der Kurve in der ROC-Analyse. Note 1 (absolute Anzahl) für die 16 Auswerterinnen und Auswerter.....	40
3.11	Korrelation der Qualität der Noten in der deskriptiven Analyse der Daten und der Fläche unter der Kurve in der ROC-Analyse. Note 5 (absolute Zahl) für die 16 Auswerterinnen und Auswerter.....	40
4.1	Scan, der mehrfach mit der Diagnose Hirnödem befundet wurde	44

4.2	Beispiel eines dekompensierten Hydrocephalus.....	46
4.3	Multiple Infarkte.....	46
4.4	Frischer Mediainfarkt. Media-Insult (links), Dense-media-Zeichen (rechts).....	47

Abkürzungsverzeichnis

ALARA	as low as reasonably achievable	mGy	Milligray
ASD	Atriumseptumdefekt	mm	Millimeter
Asym. Sig.	Asymptotische Signifikanz	mot.	motorisch/e/r
bds.	beidseits	MR	Magnetresonanz
beg.	beginnende/s	MRT	Magnetresonanztomo- graphie
bzw.	beziehungsweise	mSv	Millisievert (Äquivalentdosis)
c	kritisch	NG	Neugeborenes
ca.	circa	Nr.	Nummer
CD	Compact Disc, Dateiträger	o.p.B.	ohne pathologischen Befund
cm	Zentimeter	PC	Personal Computer
CT	Computertomographie	r	akut bedrohlich
CTDI	CT-Dosis-Index	re.	rechts/e/r
CTDI _w	gewichteter CT-Dosis-Index	ROC	Receiver Operating Characteristics
D	überdiagnostiziert/ Überdiagnose	s	Sekunde
d.h.	das heißt	SAB	Subarachnoidalblutung
et al.	und andere	SAS	Statistical Analysis Software
f	falsch-positive	SDH	Schädelhirntrauma
FG	Frühgeborenes	SPSS	Superior Performing Software System
g	gering	Std. Error	Standardfehler
G	gefährlich	U	ungefährlich
Gy	Gray, Energiedosis	UK-Fraktur	Unterkiefer-Fraktur
h	hoch	unkl.	unklar
HRCT	high resolution CT	V.a.	Verdacht auf
k	nicht akut bedrohlich	VP-Shunt	Ventrikulo-Peritonealer Shunt
kV	Kilovolt	z.A.	zum Ausschluss
li.	links/e/r	z.B.	zum Beispiel
LWK	Lendenwirbelkörper	Z.n.	Zustand nach
m	mittel	µGy	Mikrogray
mA	Milliampere		
mAs	Milliampere-Sekunde		
MEDOS	radiologisches Informationssystem		

1 Einleitung

1.1 Schädel-CT bei neurologischen Notfällen

Mit Einführung der Computertomographie (CT) in die bildgebende Diagnostik 1972 im Londoner Atkinson Morley Hospital wurden die Möglichkeiten zur schnellen und sicheren Erhebung einer Diagnose erheblich verbessert.

Mittlerweile wird die CT als Routineverfahren in der Akutdiagnostik von Abweichungen im Bereich des Kopfes erfolgreich eingesetzt. Allerdings erkannte man bereits früh, dass die schnellen, aussagekräftigen Bilder aus dem Computertomographen eine Strahlenexposition aufweisen, welche einem Vielfachen der Strahlendosis einer normalen Röntgenaufnahme entsprechen. Es besteht bei Experten Einigkeit darüber, dass insbesondere bei Kindern darauf zu achten ist, dass die Strahlendosis so gering wie möglich gehalten werden sollte. So wird durch Leitlinien und Vorschriften in der Röntgenverordnung dazu angehalten, nach dem ALARA-Prinzip (= as low as reasonably achievable) zu verfahren: Untersuchungen mit ionisierenden Strahlen sollen die Ärzte nur dann einsetzen, wenn sie tatsächlich erforderlich sind. Darüber hinaus gilt es, die Strahlenexposition so niedrig wie möglich zu halten. Denn Kinder sind strahlenempfindlicher als Erwachsene (Brenner 2002). Es erscheint daher notwendig, in allen Bereichen der Radiologie und insbesondere bei Kindern zu prüfen, ob die durchzuführende Untersuchung medizinisch indiziert ist.

Darüber hinaus erscheint es sinnvoll, zu untersuchen, ob in der Akutdiagnostik mittels CT die Anzahl der Einzelschichten reduziert werden kann. Die Einschränkung des untersuchten Volumens hat eine Reduktion der Strahlenexposition zur Folge. Dies ist besonders unter dem Aspekt sinnvoll, dass Schädel-CT-Untersuchungen im Notfall oft durch eine später durchgeführte MRT-Untersuchung ergänzt werden, wenn die MRT nicht sofort verfügbar ist. Die MRT findet in der Regel nur wenige Stunden nach der CT-Untersuchung statt, gibt zusätzliche Informationen und erhöht damit die Aussagekraft der bildgebenden Diagnostik.

Aus diesem Grunde hat sich diese Arbeit zum Ziel gesetzt, zu untersuchen, inwieweit eine Reduktion der Schichtanzahl und damit eine Verringerung der Strahlenexposition des Kindes eine Verschlechterung der Vorhersage eines gefährdenden Prozesses zur Folge hat.

Das zentrale Nervensystem ist in entscheidendem Maße für die Aufrechterhaltung der vitalen Funktionen verantwortlich. Das menschliche Dasein wird – je nach Funktionszustand des

Gehirns – in lebend oder tot eingeteilt: Hirntod bedeutet das Ende des Individuums, unabhängig davon, dass noch die Vitalfunktionen mit Hilfe moderner medizinischer Verfahren aufrechterhalten werden können. Akute Erkrankungen des Nervensystems können den Patienten rasch in eine lebensgefährliche Situation bringen. Neurologische Affektionen mit akuter Lebensgefahr gehen praktisch immer mit einer Bewusstseinsalteration einher. Oft imponiert die Lebensbedrohung neben der eindrucklichen Bewusstseins Einschränkung wenig und wird dementsprechend unterschätzt (Wagner 2005). Leicht aber weniger klar definiert, sind die Begriffe Vigilanzminderung, Delirium, Lethargie, Somnolenz und Stupor. Die Bewusstlosigkeit ist klar definiert. Im Glasgow coma score (Tabelle 1.1) wird der Grad der Funktionsbeeinträchtigung aufgrund der klinischen Untersuchung des Patienten definiert und einem Zahlenwert zugewiesen (Wagner 2005). Die Summe der Punkte ergibt den Score, der minimal 3 (bei tiefster Bewusstlosigkeit) und maximal 15 (bei vollem Bewusstsein) erreichen kann. Dadurch ist eine objektive vergleichbare Einschätzung der Bewusstseinsstörung möglich.

Tabelle 1.1: Glasgow coma scale: Reaktionen des Patienten auf Anruf oder Schmerzreiz und Beurteilung dieser Reaktionen (Punkte-Score) für Kinder

	Unter fünf Jahre	Über fünf Jahre	
Augen öffnen	Kein	Kein	1
	Auf Schmerzreiz	Auf Schmerzreiz	2
	Auf Anruf	Auf Anruf	3
	Spontan	Spontan	4
Beste verbale Antwort	Keine	Keine	1
	Unverständliche Laute	Unverständliche Laute	2
	Unzusammenhängende Laute	Unzusammenhängende Laute	3
	Verwirrt	Verwirrt	4
	Orientiert	Orientiert	5
Beste motorische Antwort	Keine	Keine	1
	Strecksynergien an allen Extremitäten	Strecksynergien an allen Extremitäten	2
	Pathologische Beugung an allen Extremitäten	Pathologische Beugung an allen Extremitäten	3
	Beugung und Wegziehen auf Schmerzreiz	Beugung und Wegziehen auf Schmerzreiz	4
	Lokalisiert Schmerz, d. h. gezielte Abwehr	Lokalisiert Schmerz, d. h. gezielte Abwehr	5
	Auf Befehl	Auf Befehl	6

Neurologische Notfallsituationen entstehen durch vaskuläre Prozesse (z.B. Angiomblutung (Millar et al. 1994), Ischämie, Venenthrombose), entzündliche Veränderungen (Meningitis, Enzephalitis), angeborene Fehlbildungen (Hydrozephalus durch Aquäduktstenose), Neoplasmen (Tumorblutung, Liquorzirkulationsstörung) und – sicherlich als häufigste Ursache – Traumata. Nach Riccabona und Lindbichler (2002) muss jedes schwere Schädelhirntrauma mit einer Schädel-CT abgeklärt werden. Milde oder minimale Schädelhirntraumata erfordern hingegen keine Bildgebung; insbesondere ist bei einer unkomplizierten Kopfverletzung eines Kindes über zwei Jahren kein Schädelröntgen indiziert, unauffällige Klinik vorausgesetzt. Bei lokalisierten Schwellungen kann bei Bedarf mit einem „Weichteilsonogramm“ ein Hämatom und eine etwaige Kalottenfraktur diagnostiziert werden (Riccabona und Lindbichler 2002; Moritz et al. 2008).

Die MRT erlaubt bei Schädelhirntraumata (Gentry et al. 1988), aber auch bei allen anderen genannten Erkrankungen oder Fehlbildungen eine sichere, zum Teil der CT überlegene Diagnosestellung. Insbesondere die Möglichkeit der MRT, physiologische Vorgänge wie Diffusionsstörungen bei frischen Ischämien darzustellen, macht die MRT bei frühen vaskulären oder entzündlichen Veränderungen zum Mittel der Wahl. Auch bei Schädelhirntraumata sind Läsionen wie diffuse axonale Verletzungen (der weißen Substanz) erst durch die MRT-Diagnostik sichtbar (Gentry et al. 1988). Auch Neoplasmen lassen sich durch den besseren Weichteilkontrast zwischen Hirnsubstanz und Tumorgewebe, vor allem nach Gabe von gadoliniumhaltigem Kontrastmittel, in der MRT zuverlässiger als in der CT erkennen. Allerdings ist insbesondere im Kleinkindalter bei der MRT eine zuverlässige Sedierung bei der Untersuchung erforderlich. Auch sind die Möglichkeiten der Überwachung und Intensivtherapie der Patienten bei der MRT gegenüber der CT aufgrund der Bauweise des Gerätes und der Probleme durch das starke Magnetfeld des MR-Tomographen eingeschränkt. Außerdem ist die Untersuchungszeit einer MRT gegenüber den modernen Computertomographen deutlich länger. Die Vorbereitungszeit für eine MRT-Untersuchung ist höher und die Verfügbarkeit der Geräte geringer als bei CT-Geräten. Daher wird in der Regel die Akutsituation als die typische, dem MRT überlegene Indikation für eine CT gesehen. Die für eine sofortige Therapie wichtigen Informationen sind in der rasch durchführbaren CT erkennbar und die durch eine MRT zusätzlich möglichen Informationen können zu einem späteren Zeitpunkt durch eine geplante MRT unter optimalen intensivmedizinischen Bedingungen gewonnen werden. Eine Besonderheit im Säuglingsalter ist die Möglichkeit, durch die offene Fontanelle ausreichend sicher die Mittellinienstrukturen im Hirnparenchym, also besonders das Ventrikelsystem, darzustellen und in Notfallsituationen auch intrakranielle Fehlbildungen, Liquorzirkulationsstörungen, Blutungen und Raumforderungen sowie – mit der Dopplersonographie – Gefäßprozesse zu diagnostizieren. Das gilt

insbesondere für die Neugeborenenperiode, also für die ersten vier Lebenswochen. Allerdings kann die Sonographie hypoxisch-ischämische Zustände – insbesondere im Initialstadium – nicht diagnostizieren (Scharitzer et al. 2002). Außerdem sind der Hirnstamm, die hintere Schädelgrube und der Parietallappen und die hier angrenzenden äußeren Liquorräume der Sonographie nicht ausreichend zugänglich, sodass auch bei Säuglingen gelegentlich die Indikation zu einer weiteren Schnittbilddiagnostik im Anschluss an eine Sonographie besteht.

Die Leitlinien der Gesellschaft für Pädiatrische Radiologie sehen beim Kopfschmerz im Kindesalter die MRT als die Methode der Wahl vor, lediglich bei dem Verdacht auf Blutung, Fraktur und Kontusion, also vor allem beim Trauma-Patienten, hat die CT eine gleichwertige Stellung. In diesem Sinne sollen elektive Untersuchungen (bei Kopfschmerz ohne neurologische Begleitsymptomatik) in aller Regel in der MRT durchgeführt werden. Wenn aber eine Dringlichkeit besteht, so z.B. vor einer geplanten Lumbalpunktion zum Ausschluss einer intrazerebralen Raumforderung, die zu einer lebensbedrohlichen Komplikation bei der Lumbalpunktion, der sogenannten Einklemmung, führen kann, ist eine CT aufgrund der besseren Verfügbarkeit der Methode nach wie vor eine sinnvolle und potentiell lebensrettende Untersuchungstechnik. Die Leitlinie „Vorgehen bei leichtem Schädelhirntrauma“ der Gesellschaft für Pädiatrische Radiologie sieht bei leichten Traumen und einem Glasgow coma score von 15 eine 24-stündige Überwachung des Patienten, bei einem Score von 13-15 eine 48-stündige Überwachung vor. Eine Indikation zur Bildgebung wird erst beim Auftreten von neurologischen Herdsymptomen oder Verletzungszeichen, die eine Eröffnung des Liquorraumes vermuten lassen, empfohlen (Gesellschaft für Pädiatrische Radiologie 2009). Eine CT wird in den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie bei einem Score von <12 als fakultativ, bei <8 als obligat angesehen (Deutsche Gesellschaft für Kinderchirurgie 2002).

1.2 Risiken der Strahlenexposition

Seit Entdeckung der Radioaktivität und der ionisierenden Strahlung werden die Gefahren der Strahlenexposition und der Gewinn, der erzielt wird durch die Anwendung der Techniken, bei denen Strahlung frei wird beziehungsweise Strahlung eingesetzt wird, diskutiert. Zur Bewertung des Risikos von Strahlenexpositionen der Bevölkerung ist es essentiell, die unterschiedlichen Quellen der Exposition zu kennen und deren Anteil an der gesamten Strahlenexposition. Nach den Erhebungen des Bundesamtes für Strahlenschutz waren Computertomographien, bei stetiger Zunahme, schon im Jahr 2002 für etwa die Hälfte der medizinisch bedingten Bevölkerungsdosis in Deutschland verantwortlich, obwohl sie nur

einen Anteil von etwa 6 % der Untersuchungen stellten (Bundesamt für Strahlenschutz 2004). Risiken einer Strahlenexposition sind die stochastischen und die nichtstochastischen Strahlenschäden. Stochastische, also zufällig auftretende Schäden, treten entweder auf oder nicht. Das Auftreten ist mit einer Wahrscheinlichkeit bestimmbar. Von Risiko wird gesprochen, wenn eine größere Zahl von vergleichbaren Ereignissen Rückschlüsse auf den wahrscheinlichen Ausgang des Ereignisses erlaubt. Das Risiko kann von der Dosis der Strahlung abhängen (Stieve 1987). Für die Anwendung ionisierender Strahlen besteht das Risiko einer strahleninduzierten malignen Erkrankung oder von Schäden an den Keimzellen (Eizellen oder Spermatogonien). Nichtstochastische Strahlenwirkungen sind streng dosisabhängig, wie z.B. eine thermische Schädigung der Haut von der Wärmemenge und der Zeit der Einwirkung abhängt. So kann beispielsweise eine Dosis von 12 Gy bei der Hälfte der exponierten Personen zu einer Katarakt (Augenlinsentrübung) führen. Da eine Schädel-CT üblicherweise mit weniger als 60 mGy in der Schicht durchgeführt werden sollte (Bundesärztekammer 2008; Bundesamt für Strahlenschutz 2001), ist die im Untersuchungsvolumen liegende Linse mit einer relativ geringen Dosis belastet. Allerdings sind schon nach 5 Gy, also etwa zehn typischen Schädel-CT-Untersuchungen, Katarakte in bis zu 5 % der Fälle beschrieben (Stieve 1987). Erste subkapsuläre Eintrübungen der Augenlinse werden schon nach Schwellendosen von 700 mSv berichtet (Mills et al. 2006; Nakashima et al. 2006).

1.3 Strahlenexposition bei CT-Untersuchungen im Kindesalter

Kinder sind in besonderem Maße verletzlich für Schäden durch ionisierende Strahlung. Zum einen sind die Zellen des wachsenden Organismus durch raschere Zellteilung, die Gewebe durch Proliferation gekennzeichnet. Zum Zweiten hat ein Kind eine hohe Lebenserwartung, sodass sogenannte stochastische, d. h. nicht dosisabhängige, sondern durch Einzeltreffer an Zellkernen hervorgerufene Veränderungen viel Zeit haben, um z.B. zu einer Malignität der Zelle zu führen (Shah und Platt 2008). Drittens sind Kinder potentielle Eltern, also können Veränderungen an der Keimbahn zu einer Schädigung in der nächsten Generation führen.

Es wird geschätzt, dass bis zu eines von 1000 Kindern, die eine CT-Untersuchung hatten, an einer strahleninduzierten malignen Erkrankung sterben wird, d.h. es besteht ein 0,35 %iger Anstieg des Risikos (Shah und Platt 2008). Dieser Anstieg ist letztlich stark abhängig vom Alter des Patienten bei der Untersuchung: Bei einer Schädel-CT im ersten Lebensjahr ist das geschätzte zusätzliche Risiko noch im Bereich von 0,04 %, um dann stark abzufallen (0,02 % im Alter von fünf Jahren und unter 0,01 % im Alter von 15 Jahren) (Brenner 2002). Außerdem erhalten Kinder höhere Organdosen, wenn eine CT mit den gleichen

Einstellungen wie bei Erwachsenen durchgeführt wird, da durch die geringere Größe des oder der Untersuchten zwar eine geringere Strahlenenergie absorbiert wird, dafür aber durch die deutlich geringere Organgröße eine höhere Dosis resultiert (Brenner et al. 2001; Frush et al. 2003). Eine breite Diskussion, auch in der Öffentlichkeit, hat das Ergebnis einer Studie des Karolinska Instituts (Department of Medical Epidemiology) aus dem Jahr 2004 ausgelöst. In dieser Studie wurde nachgewiesen, dass eine niedrig dosierte Röntgenbestrahlung des Schädels zur Therapie von Hämangiomen zu geringerer Schulbildung und schlechteren kognitiven Fähigkeiten führen könnte. Die Dosis dieser Schädelbestrahlungen, die im Säuglingsalter bis zum 18. Lebensmonat durchgeführt wurden, lag im Bereich von 250 mGy und darunter. Daraus folgern die Autoren, dass eine Strahlenexposition des Gehirns mit Dosiswerten, die mit solchen von diagnostischen Schädel-CT überlappen, zumindest in einigen Fällen zu schädlichen Folgen für die intellektuelle Entwicklung führen kann. Die wörtliche Schlussfolgerung lautet: „The risk and benefits of computed tomography scans in minor head trauma need re-evaluating“ (Hall et al. 2004).

Die Dosis in der CT ist von vielen Faktoren abhängig, insbesondere von den technischen Voraussetzungen des Gerätes. Die Empfindlichkeit des Detektors oder die Filterung der Strahlung sind Beispiele für gerätespezifische Faktoren, die bei verschiedenen Gerätetypen auch bei sonst gleichen Scan-Parametern (Schichtdicke, Röhrenspannung, Röhrenstrom) eine unterschiedliche Exposition bewirken können.

Bei der Schädel-CT gibt es einerseits hohe Kontraste (zwischen Knochen und Gewebe, zwischen Luft und Knochen, z.B. im Felsenbein), was zu Aufhärtungsartefakten führt, die wiederum durch höhere Strahlendosen vermindert werden können. Außerdem müssen auch geringe Dichteunterschiede zwischen grauer und weißer Substanz, zwischen ödematösem und normalem Parenchym, und zwischen Liquor und Gewebe aufgelöst werden, was hohe Anforderungen an die Dichteauflösung stellt und ein geringes Bildrauschen erforderlich macht. Damit diese Anforderungen an die CT-Untersuchung erfüllt werden können, muss die Dosis in der Schicht bei der Schädel-CT deutlich höher gewählt werden als die bei den Untersuchungen am Körperstamm. Bei den am Somatom Balance Computertomographen (Siemens) eingesetzten Programmen ist die Dosis in der Schicht (geschätzt durch den sogenannten gewichteten CT-Dosis-Index – CTDI_w) für eine Schädel-CT um den Faktor 4 höher als für eine Abdomen-CT und um den Faktor 6 höher als für eine Thorax-CT. Tabelle 1.2 gibt Beispiele von Untersuchungsprotokollen und gewichteten CT-Dosis-Indices am Somatom Balance der Abteilung Kinderradiologie am Standort Gießen des Klinikums Gießen und Marburg.

Tabelle 1.2: Wichtige Geräteeinstellungen und CTDIw bei Routine-CT von Kindern am Somatom Balance

Untersuchung (Lebensalter)	Schichtdicke oder Rekonstruktionsin- krement/ Tischvorschub (Spiral-CT) (mm)	Röhrenspannung (kV)	Röhrenstrom (mAs)	CTDIw (mGy)
Spiral-CT Abdomen (Kleinkind)	5/7,5	110	55	3,33
Spiral-CT Abdomen (ältere Patienten)	8/12	130	120	7,28
Thorax Routine	5/7,5	110	80	7,68
Thorax Niedrigdosis	5/7,5	130	30	2,70
Schädelbasis sequentiell bis 6 Monate Lebensalter	3	110	110	20,13
Neurocranium sequentiell bis 6 Monate Lebensalter	5	110	100	18,30
Schädelbasis sequentiell 6 Monate bis 3 Jahre	3	110	130	23,79
Neurocranium sequentiell 3 bis 10 Jahre	5	110	100	18,30
Schädelbasis sequentiell 6 Monate bis 3 Jahre	3	110	150	27,45
Neurocranium sequentiell 3 bis 10 Jahre	5	110	150	27,45
Schädelbasis Spiral-CT bis 6 Monate Lebensalter	3/4,5	130	70	12,41
Neurocranium Spiral-CT bis 6 Monate Lebensalter	5/7,5	130	80	14,19
Schädelbasis Spiral-CT 6 Monate bis 3 Jahre	3/4,5	110	100	12,20
Neurocranium Spiral-CT 6 Monate bis 3 Jahre Lebensalter	5/7,5	110	100	12,20
Schädelbasis Spiral-CT 3 bis 10 Jahre	3/4,5	110	130	14,64
Neurocranium Spiral-CT 3 bis 10 Jahre	5/7,5	110	130	14,64
Routine Schädelbasis	3	130	165	43,89
Routine Neurocranium	5	130	165	43,89

Die effektiven Dosen für die Schädel-CT sind vergleichbar mit denen einer Abdomen- oder Thorax-CT, da bei der Berechnung der effektiven Dosis das Volumen des Objektes, insbesondere aber auch ein bewertender Schätzwert für die Strahlenempfindlichkeit eingeht, der dazu führt, dass die Bewertung der Organdosis einer Abdomen-CT höher ist als die einer Schädel-CT. Diese Effektivdosis wird für eine Schädel-CT mit 4 mSv, für eine Thorax-CT mit 3 mSv und für eine Abdomen-CT mit 5 mSv angegeben (Brody et al. 2007).

Um die Strahlenexposition bei der Diagnostik gering zu halten, müssen die Prinzipien des „ALARA“ eingehalten werden. Das bedeutet: Die Dosis soll so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar sein. Um dieses Ziel einer möglichst geringen Dosis zu erreichen, gibt es nach Shah und Platt (2008) folgende Ansätze, die auch in der Kinderradiologie des Uniklinikums Gießen und Marburg, Standort Gießen, eingehalten werden:

- Gewichtsadaptierte Protokolle: Die Exposition jeder bei einem Kind durchgeführten CT soll gegenüber der Dosis, die bei einem Erwachsenen üblich ist, reduziert werden.

- Alternative Untersuchungsverfahren (also die Sonographie beim Säugling und die MRT beim älteren Kind) einsetzen, wenn es möglich ist. Dabei sind die entscheidenden Faktoren die Sicherheit der Diagnose (die gegen die Sonographie sprechen könnte) und die Verfügbarkeit und Geschwindigkeit der Diagnostik (was gegen eine MRT sprechen könnte).
- Verbesserung der Abschirmung: Bei der Schädeluntersuchung lässt sich die Schilddrüse und teilweise auch die Augenlinse durch eine Bleigummimatte abschirmen.
- „Limited view studies“: Shah und Platt (2008) schlagen eine Einschränkung des Untersuchungsfeldes vor. So empfehlen sie, bei dem Verdacht auf eine Appendizitis nur eine auf die Appendixregion beschränkte CT durchzuführen, ein gedanklicher Ansatz, der in dieser Arbeit ebenfalls verfolgt wird, allerdings in einer konsequent weitergeführten extrem sparsamen Variante.
- Verzicht auf Wiederholungsuntersuchungen, insbesondere auf Untersuchungen vor und nach Kontrastmittel.

Die Rolle des pädiatrischen Radiologen ist es, Entscheidungen zu treffen und zu beeinflussen, um einerseits die Indikation von CT-Untersuchungen einzuschränken und andererseits die möglichen Alternativen aufzuzeigen beziehungsweise auch anbieten zu können.

1.4 Möglichkeiten einer „eingeschränkten“ Diagnostik

Bis vor der Einführung der Schädel-CT in die klinische Routine (Ambrose und Hounsfield, 1973; Piepgras et al. 1995) waren die Möglichkeiten der bildgebenden Diagnostik des Schädelinneren entweder bescheiden oder ausgesprochen invasiv. Die Bildgebung musste sich auf die Möglichkeiten der konventionellen Projektionsradiographie und deren Erweiterungen (insbesondere Pneumenzephalographie oder Angiographie) stützen. Als nichtinvasives Verfahren stand seit den fünfziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts die Echoenzephalographie zur Verfügung, um z.B. die Lage der Mittellinie im Schädel sonographisch zu bestimmen und damit in Notfallsituationen Hinweise auf eine einseitige Raumforderung zu geben.

Mit der Einführung der CT und der MRT sind nichtinvasive Verfahren verfügbar, die die bisherigen bildgebenden Verfahren des Zentralnervensystems praktisch abgelöst haben.

Aus der Sicht eines Arztes vor der Einführung der CT wäre eine Darstellung des Ventrikelsystems durch eine einzelne axiale Schicht mit der Möglichkeit, Aussagen über den epi- und subduralen Raum zu machen und die Dichte der Hirnsubstanz sehr genau messen zu können, eine Revolution gewesen. Die ersten CT-Scans waren aufgrund ihrer Qualität kaum geeignet, die Details der Hirnstruktur und der Liquorräume wiederzugeben, die mit einem modernen Gerät sichtbar gemacht werden. Damit können sich aus einer Einzelschicht für die Einschätzung der Akuität einer Situation, also insbesondere der Tatsache, ob ein Hirndruck vorliegt, der innerhalb kurzer Zeit zum Funktionsverlust des Gehirns und in letzter Konsequenz zum Tod führen kann, Hinweise ergeben.

CT-Untersuchungen, bei denen nur eine einzelne Schicht oder zumindest kein kontinuierliches Volumen aufgenommen wird, sondern nur einige wenige Schichten, sind vereinzelt bereits ärztliche Praxis. Zum einen wird bei der High Resolution CT (HRCT) der Lunge zumindest bei Kindern kein komplettes Volumen, das beide Lungen vom Apex bis zum Zwerchfell erfasst, untersucht, sondern es werden einige dünne Schichten in einem Abstand, der wesentlich größer ist als die Schichtdicke, angefertigt. In der Regel steht eine konventionelle Projektionsaufnahme des Thorax und in allen Fällen das CT-Projektionsradiogramm zur Verfügung, um die Lage der Schichten zu planen, falls der gesuchte Lungenprozess eine Bevorzugung eines Lungenabschnittes (z.B. der Basis) zeigt. Prozesse im Interstitium der Lunge werden mit der HRCT-Technik besser abgebildet als mit der konventionellen CT-Technik (Garcia-Peña und Lucaya 2004). Für die Bestimmung des Verhältnisses von viszeralem Fettgewebe und Unterhautfettgewebe wird eine einzelne Schicht in definierter Position (z.B. in Höhe der Bandscheibe LWK 4 - LWK 5) durch das Abdomen geführt und die Menge des intraabdominellen Fettgewebes und die des subcutanen Fettgewebes werden bestimmt und als Goldstandard für die Messung dieser Fettverteilung angegeben (Clasey et al. 1999). Seidell et al. (1990) verglichen MRT-Messungen des abdominellen Fettgewebes in einer Untersuchung an gesunden Normalpersonen mit einer CT-Messung; aufgrund der Strahlenexposition wurde in dieser Untersuchung nur eine CT-Schicht angefertigt, sonst hätte nach Angaben der Autoren die Ethik-Kommission der Untersuchung nicht zugestimmt.

1.5 Fragestellung

Diese Untersuchung wurde zur Beantwortung von drei Fragen unternommen:

1. Inwieweit ist es möglich, eine akute neurologische Erkrankung bei einem Kind durch eine eingeschränkt durchgeführte Schädel-CT mit nur einem Tomogramm in Höhe

der Foramina Monroi zu diagnostizieren? Mit welcher Sicherheit werden die Diagnosen gestellt?

2. Wie verhalten sich klinisch tätige Ärzte oder Radiologen, wenn sie diese Untersuchung als Grundlage ihrer Entscheidung nehmen sollen?
3. Wie ist die Dosis dieser eingeschränkten Untersuchung zu bewerten?

2 Materialien und Methoden

2.1 Auswahl des Bildmaterials

Mittels des Journals, in dem alle CT-Untersuchungen dokumentiert werden, wurden sämtliche Schädel-CT-Untersuchungen aus der Abteilung Kinderradiologie des Standortes Gießen des Universitätsklinikums Gießen und Marburg aus den Jahren 2000 bis 2003 identifiziert und gesichtet. Aus dem radiologischen Informationssystem (MEDOS, Firma Medos, Langenselbold) wurden der Arztbrief der Schädel-CT und die Briefe der im Vorfeld und im Verlauf durchgeführten Untersuchungen entnommen. Ein Radiologe mit kinderradiologischem Schwerpunkt entschied anhand der Anamnese, die im Arztbrief festgehalten war, ob es sich um eine Notfallindikation handelte oder nicht und klärte in einer ersten Sichtung die Diagnose. Lediglich Untersuchungen, die aufgrund einer neuen, d.h. bisher nicht weiter abgeklärten Fragestellung durchgeführt wurden, wurden aufgenommen. Dazu zählte auch eine im Verlauf einer Erkrankung (z.B. nach einer Operation) neu aufgetretene oder wieder aufgetretene Symptomatik. Typische Beispiele für Untersuchungen, die nicht aus einer Akutsituation heraus entstanden sind, sind zum Zweck einer Nachkontrolle nach ventrikuloperitonealer Shuntoperation oder wegen eines postoperativen Zustandes durchgeführt worden. Solche wurden nicht in diese Studie einbezogen. Ausgeschlossen wurden ebenfalls Untersuchungen, deren Anamnese nicht eindeutig formuliert war. Bei allen Untersuchungen, die schließlich zur Analyse herangezogen wurden, war das Bildmaterial verwendbar. Die ersten 101 Untersuchungen wurden ausgewählt. Die Patientinnen und Patienten waren im Alter von 0 bis 37 Jahren, der Altersmedian betrug 7 Jahre, das arithmetische Mittel 8,0 Jahre, es waren 44 Mädchen und Frauen und 54 Jungen und Männer untersucht worden. Die wenigen erwachsenen Patientinnen und Patienten waren aufgrund ihrer Erkrankung, zumeist wegen angeborenen Herzfehlern und der langjährigen Betreuung in der Kinderklinik, durch die Abteilung Kinderradiologie untersucht worden.

Die CT wurden an einem Somatom Balance (Baujahr 1999) der Firma Siemens (Forchheim, Deutschland) in der Abteilung Kinderradiologie der Klinikum Gießen und Marburg GmbH, Standort Gießen, durchgeführt. Dabei wurden die Standard-Untersuchungsprotokolle für Schädel-Spiral-CT und inkrementelle Schädel-CT verwendet. In diesen Protokollen sind verschiedene Dosis-Stufen für die unterschiedlichen Altersgruppen vorgesehen. Teilweise wurden die Untersuchungen zur Dosisreduktion als Spiral-CT (mit einem Verhältnis von Tischvorschub pro Rotation geteilt durch Schichtdicke (= „Pitch“) von 1,5) durchgeführt. Von den 101 verwendeten Untersuchungen waren 40 (40 %) als sequentielle CT und 61 (60 %) als Spiral-CT durchgeführt worden. Die Schichtdicke lag bei den Abschnitten der Schädelbasis bei 3 mm (bei Spiral-CT in Rekonstruktionen mit 3 mm Inkrement), durch das Neurocranium wurden 5-mm-Schichten (bei Spiral-CT in Rekonstruktionen mit 5 mm Inkrement) angefertigt. Die Röhrenspannungen und Röhrenströme lagen zwischen 110 und 130 kV beziehungsweise 55 und 165 mA. Die CTDI-Werte lagen zwischen 12,41 und 39,90 mGy, je nach Protokoll und Alter des Patienten. Die CTDI-Werte legen nahe, dass die Exposition bei den hier betrachteten Untersuchungen im Vergleich zu der bei Erwachsenen verwendeten Dosis deutlich niedriger war (die Protokolle für die Schädel-CT bei Erwachsenen sehen 39,90 mGy vor).

Tabelle 2.1: Beispiele für Indikationen zur CT

Vorgewölbte Fontanelle
Hirntumor unkl. Genese; Z. n. 2x Shuntrevision gestern, jetzt Mittelhirnsymptomatik, Eintrübung, Krämpfe
VP-Shunt bei posthämorrhagischer Hydrozephalus. Heute erneut Erbrechen und Kopfschmerzen
Prämatüre Nahtsyntose? Hirndruck?
Z. n. Sturz von Sofa auf Kopf (Parkettboden) vor 3 Tagen
Hämophilie B gestern Sturz mit dem Roller; seit morgens Übelkeit, Erbrechen, zunehmende Müdigkeit, Blutung?
Dandy-Walker-Malformation, Ventrikuloatrialer Shunt; Dysfunktion?
Z. n. battered child, Ausschluss Hirndruck
Z. n. Resektion eines Ependymomrezidiv, jetzt Krampfanfall
Starker Kopfschmerz, Verwirrtheit, Aphasie, Amnesie, Taubheitsgefühl re. Arm, re. Knie
V.a. Commotio cerebri, auffallend schläfrig, Ausschluss Blutung
UK-Fraktur
Nüchternerebrechen, Synkopen/Stürze
Z. n. ASD-Verschluss, jetzt Wortfindungsstörung
Unkl. Bewusstseinseintrübung, Übelkeit, Z. n. Ohrenspülung
FG mit NG-Krämpfen
VP-Shunt, z. A. Insuffizienz
V.a. beginnendes Hirnödem. Seit Mittag Torkeln, Erbrechen, Schläfrigkeit
Vor Wochen gestürzt, jetzt Kopfschmerz und mot. Ungeschicklichkeit, SAB?
V.a. Shuntinsuffizienz

Im zweiten Schritt wurden die Untersuchungen mit dem dazugehörigen Arztbrief erneut von einem Kinderradiologen und einer Kinderärztin fachärztlich diagnostiziert und mit allen Angaben aus der elektronischen Patientenakte (Klinikinformationssystem) abgeglichen (Arbeitsgruppe klinische und administrative Datenverwaltung, Uniklinikum Gießen und

Marburg, Standort Gießen). In mehr als zwei Drittel der Fälle waren die Patientinnen und Patienten stationär in der Kinderklinik Gießen aufgenommen, sodass Angaben aus der elektronischen Patientenakte zum Verlauf und zum Ergebnis der Behandlung zur Verfügung standen. Aus diesen Angaben sowie den möglicherweise zusätzlich zur Verfügung stehenden Bildern (Kontroll-CT, Kontroll-MRT) wurde eine definitive Diagnose gestellt. Beispielsweise konnte beim Vorliegen einer Shuntinsuffizienz eine erfolgreich durchgeführte Shunt-Revision als Beweis für die Richtigkeit der Diagnose gewertet werden. In den Tabellen 2.1 und 2.2 sind beispielhaft Anamnesen (Indikationen für CT) und endgültige Diagnosen dargestellt.

Tabelle 2.2: Beispiele für die endgültige Diagnose. Gleiche Patienten wie in Tabelle 2.1

Ausgedehnte, bis 1,3 cm breite subdurale Hygrome bds. Keine Blutung. Innere Liquorräume normal weit
Erweiterung aller 4 Ventrikel, aufgebrauchte äußere Liquorräume. VP-Shunt von rechts. Hypodenses Marklager. Dekompensation
Shunt von li. Kein Aufstau. Balkenagenesie. Keine Überdrainage
O. p. B. Auch kein Anhalt für Verkalkung bzw. Synostose
1 cm breites Epiduralhämatom rechts, hier Fraktur. Links contre-coup-Herd. Keine Liquortransportstörung. Wurde operiert
O. p. B.
SDH li, temporoparietale Zyste li. Dandy-Walker-Malformation. Li eingebrachtes Shuntsystem. Kein Hinweis auf Hirndruck. Überdrainage
Aufgeweitete innere Liquorräume, links fast vollständig fehlender Temporallappen, Parietal- und Occipitallappen (porencephale Zyste). Verschmälerung des Hirnparenchyms re. Kein Anhalt für akuten Hirndruck
Aufgeweitete, plumpe Liquorräume, subdurale Luft. Enge äußere Liquorräume, Liquorpolster li. Kleinhirnhemisphäre bei Z. n. Trepanation hier. Keine Blutung. Omay-Reservoir. Li. Seitventrikel.
O. p. B.
O. p. B.
O. p. B.
O. p. B.
O. p. B.
O. p. B.
Etwas erweiterte Liquorräume, sonst o. p. B.
Weite Ventrikel, keine Blutung, "tiefe" Gyrierung. Keine Dysfunktion
Keine Blutung; Engstellung der Seitventrikel, etwas hypodenses Marklager frontal, aber keine Zeichen einer Enzephalitis
Keine Blutung, keine Raumforderung
Kein Anhalt für Shuntinsuffizienz, im CT eher Überdrainage

2.2 Datenschutz

Die Bilddateien waren anonymisiert und nur mit einer Journal-Nr. aus dem radiologischen Informationssystem identifiziert. Damit ist sicher gestellt, dass die Auswerterinnen oder Auswerter die Anamnesedaten nicht mit den Patientendaten zusammenführen können. Für die Analyse der Daten und die Erstellung des Goldstandards standen allerdings alle Informationen zu den Patienten, die im radiologischen Informationssystem vorgehalten wurden, zur Verfügung. Die Auswerterinnen beziehungsweise Auswerter haben die Dateien mit den verschlüsselten Anamnesen nach der Durchführung der Studie von ihren Rechnern

gelöscht, die CDs wurden nur für die Auswertung benutzt und danach sofort zurückgegeben. Die personenbezogenen Daten aus dieser Studie werden nach Abschluss der Dissertation vom klinikumseigenen Forschungsrechner gelöscht und auf einem Datenträger (CD) im Archiv der Abteilung Kinderradiologie aufbewahrt. Für die Untersuchung lag das zustimmende Votum der Ethik-Kommission des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen (Antrag-Nr. 25/09) vor.

2.3 Abschätzung der Dosis einer Einzelschicht-CT

Die hier betrachteten Untersuchungen wurden komplett (also lege artis als Schädel-CT von der Basis bis zur Mantelkante der Hemisphären) durchgeführt. Die dabei erforderliche Strahlenexposition ist abhängig vom Gerätetyp sowie von den Parametern der Untersuchung und vom Volumen, das untersucht wurde. Teilweise wurden Spiral-CT des Schädels durchgeführt, da die Datenaquisition schneller erfolgt als bei der inkrementellen CT (also der Untersuchungstechnik, bei der einzelne Schichten nacheinander aufgenommen werden). Bei der Einzelschicht-CT muss eine einzelne, inkrementelle Schicht aufgenommen werden. Die dazu erforderliche Dosis wird abgeschätzt, indem die Dosis für eine Gesamtuntersuchung, die der Gerätehersteller angibt, geteilt wird durch die Zahl der Scans der durchgeführten Schädel-CT (da ja nur ein Scan erfolgt ist). Dabei wird davon ausgegangen, dass die Dosis linear mit der Zahl der Scans ansteigt, was bei dem angedeutet kugelförmigen Objekt (Kopf) nicht ganz zutrifft: Die am weitesten oben liegenden Scans durchstrahlen weniger Gewebe und dadurch wird die Strahlenabsorption, die Streustrahlung und damit die Exposition dieser Scans geringer ausfallen. Eine Routine-Schädel-CT hat in der Abteilung Kinderradiologie im Durchschnitt zwölf 3-mm-Schichten und 17 5-mm-Schichten (Stichprobe aus 45 der CT-Untersuchungen in unterschiedlichen Altersstufen). Also ist die Dosis einer Einzelschicht etwas höher als ein Neunundzwanzigstel der gesamten Tomographie. Zur Dosis des Tomogrammes wird noch die Dosis des Topogrammes (Fächerstrahl-Projektionsaufnahme) addiert. Die Dosis dieser Aufnahme wird aus den Herstellerangaben entnommen.

Zusätzlich wurde an dem in dieser Arbeit verwendeten Gerät eine Messung zur Abschätzung der Eintritts- und Austrittsdosis bei einem Topogramm und einem Tomogramm durchgeführt. Dazu wurde ein wassergefüllter Kunststoffkanister mit einem Längs- und Querdurchmesser von ca. 12 cm mit zwei Festkörperdetektorsonden (Modell Unfors PSD, Unfors Instruments AB, Billdal, Schweden) links und rechts am Phantom befestigt und im Computertomographen untersucht. Es wurde das Standard-Protokoll aus dem vom Hersteller vorgeschlagenen Standard „ChildSpi“ verwendet. Die Messparameter betragen für das Topogramm 130 kV Röhrenspannung und 30 mAs Röhrenstrom, die Kollimation 2 mm. Anschließend wurde eine 8 cm lange Spiral-CT (nach den Tischpositionen 8,3 cm Scanlänge) durchgeführt. Folgende

Parameter lagen dabei zugrunde: 8 mm Schichtdicke, 8 mm Tischvorschub, 110 mAs, 130 kV. Schließlich wurde noch eine Einzelschicht (8 mm, 110 mAs, 130 kV) durchgeführt, die beiden Dosimeter wurden so platziert, dass eines im Nutzstrahlenbündel und eines 2,5 cm davon entfernt auf der Oberfläche des Phantoms angebracht war.

Das Dosimeter unterliegt einem Messfehler, der von der Strahlenenergie abhängt, die größte Empfindlichkeit liegt bei 90 kV, bei Grenzenergien von 130 kV beträgt er zwischen 10 und 15 %, die Dosis wird dabei unterschätzt. Die Empfindlichkeit ist dagegen hoch, im Messbereich von 1 μ Gy bis 9999 Gy wird die Reproduzierbarkeit der Messungen vom Hersteller mit 1 % angegeben.

2.4 Auswerterinnen und Auswerter

17 Personen werteten die Bilder aus. Eine Person führte die Bildanalyse zur Bestimmung der Reproduzierbarkeit dreimal innerhalb von drei Monaten (mit mehreren Wochen Abstand) durch (Auswertungen 8, 11 und 15). Dieser Auswerter war vorher auch bei der Auswahl der Bilder und der Erstellung des Goldstandards beteiligt. Aus diesem Grund wurden die Ergebnisse dieses Auswerter nicht in die Auswertung einbezogen. Der Ausbildungsstand der Auswerterinnen und Auswerter war unterschiedlich, sowohl klinisch tätige Ärztinnen und Ärzte (Kinder- und Jugendärztinnen und Kinder- und Jugendärzte, mit der Zusatzbezeichnung Neuropädiatrie) und Neurochirurgen als auch Radiologinnen und Radiologen in unterschiedlichen Ausbildungsabschnitten wurden befragt. Tabelle 2.3 gibt die Fachrichtung und den Ausbildungsstand sowie eine Einschätzung der Erfahrung in Notfallbildgebung mit Schädel-CT wieder. Geringe Erfahrung wurde angenommen, wenn in der Ausbildung weder Abschnitte in der Neuroradiologie noch in der Kinderradiologie enthalten waren und noch keine Erfahrungen in pädiatrischer Neurologie oder Neurochirurgie vorlagen. Ein hoher Kenntnisstand wurde angenommen, wenn der Auswerter eine abgeschlossene Weiterbildung in den genannten Gebieten hat. Bei vier der 16 Untersucher, deren Daten in die Analyse einbezogen wurden, wurde der Grad der Erfahrung als gering, bei fünf als mittel und bei sieben als hoch eingestuft.

Es standen von allen Auswertungen mit einer Ausnahme vollständige Sätze von Daten zur Verfügung. Bei einem Auswerter (9) fehlten fünf Bewertungen (Receiver Operating Characteristics(ROC)-Analyse und Diagnosen) und sechs Beurteilungen der Qualität, die vom Auswerter übersehen wurden.

Tabelle 2.3: Fachrichtung, Ausbildungsstand und Erfahrung der Auswerterinnen und Auswerter in der Notfall-Schädelldiagnostik beim Kind

Auswertung (laufende Nummer)	Ausbildungsstand des Auswerter/der Auswerterin	Besonderheiten	Erfahrung in Bildgebung
1	Assistenzarzt Radiologie	Chirurgische Erfahrung	Gering
2	Facharzt Radiologie	Neuroradiologische Erfahrung	Hoch
3	Facharzt Pädiatrie	Neuropädiatrische Weiterbildung	Hoch
4	Assistenzarzt Radiologie	Internistische Erfahrung	Gering
5	Fachärztin Radiologie	Kinderradiologische Erfahrung	Mittel
6	Fachärztin Pädiatrie	Kinderradiologische Erfahrung	Mittel
7	Assistenzärztin Radiologie	Kinderradiologische Erfahrung	Mittel
8	Facharzt Radiologie	Mit Schwerpunkt Kinderradiologie	Hoch
9	Facharzt Neurochirurgie	Kinderneurochirurgische Ausrichtung	Hoch
10	Facharzt Pädiatrie	Neuropädiatrische Weiterbildung	Hoch
12	Facharzt Radiologie	Mit Schwerpunkt Kinderradiologie	Hoch
13	Facharzt Radiologie	Mit Schwerpunkt Neuroradiologie	Hoch
14	Assistenzarzt Neurochirurgie	Kinderneurochirurgische Ausrichtung	Mittel
16	Assistenzarzt Radiologie	Neuroradiologische Erfahrung	Mittel
17	Facharzt Radiologie	Allgemeinradiologische Ausrichtung	Gering
18	Facharzt Neurologie	Erwachsenenneurologische Ausrichtung	Gering
19	Facharzt Radiologie	Mit Schwerpunkt Neuroradiologie	Hoch

Insgesamt standen also 16 mal 101 minus 5, also 1611 Diagnosen und Bewertungen sowie 1610 Beurteilungen der Bildqualität zur Analyse zur Verfügung. Die sechs übersehenen Beurteilungen des Auswerter wurden für die deskriptive Analyse als „nicht richtig“ im Sinne der Fragestellung ausgewertet; aber sie wurden auch nicht als falsch-negativ gezählt.

2.5 Erhebung der Daten für die Analyse der diagnostischen Aussagefähigkeit einer Einzelschicht-Untersuchung

Die Bilder der Patienten wurden anonymisiert (nur durch eine Vorgangsnummer kenntlich) auf eine CD mit einem Bildbetrachtungsprogramm geschrieben. Dieses Programm erlaubt es, an einem PC die Bildauswertung durchzuführen. Die Auswerter durften an ihrem persönlichen Computer und zu den von ihnen gewünschten Bedingungen die Analyse der Bilder durchführen. Moderne Computermonitore haben eine Auflösung von etwa 1024 mal 768 Bildpunkten. Die für die Befundung von Computertomogrammen zugelassenen Bildschirme müssen eine deutlich höhere Auflösung bieten; bei konventionellen Röntgenbildern ist diese bessere Auflösung erforderlich, bei CT-Bildern ist die Matrix des Bildes aber kleiner als die der Monitore (512 mal 512 Bildpunkte), sodass ein Verlust an Qualität der Befundung an einem „einfacheren“ Monitor nicht ins Gewicht fällt. Allenfalls wäre es denkbar, dass die Ergebnisse dieser Studie durch die Verwendung von besseren Monitoren noch besser zugunsten der Einzelschicht-CT ausgefallen wären. Auch die

Betrachtungsbedingungen (Raumbeleuchtung, Uhrzeit der Auswertung, Lärmpegel) waren den Auswerterinnen und Auswertern freigestellt.

2.6 Standardisierte Beurteilung der Einzelschicht-Untersuchung durch die Auswerterinnen und Auswerter

Für die geplante Datenanalyse sowie für die deskriptive Darstellung der Ergebnisse wurde Folgendes festgesetzt:

Primärer Endpunkt der Diagnostik ist die richtige Diagnose, die von der Auswerterin/dem Auswerter gestellt wird. Dabei ist der Begriff richtig hier definiert einerseits als sachlich richtig (z.B., dass eine Erkrankung vorliegt) und außerdem in dem Sinne, dass eine Behandlungsindikation besteht. So kann bei einer Frage nach einer Fehlbildung ein Befund im Sinne der Fragestellung pathologisch sein, aber keine akute, therapiebedürftige Situation bestehen. Die Anamnese der Untersuchung, die auf der Anforderung vermerkt war, wurde mitgeteilt. Dann wurde gefragt: Ist der Befund pathologisch oder normal im Sinne der Fragestellung (bei der Anamnese: Schädelhirntrauma z.B. intrakranielle Verletzung)? Die Auswerterinnen und Auswerter konnten die in Tabelle 2.4 angegebenen Entscheidungen treffen.

Danach sollten sie mit der einzelnen Schicht Diagnosen stellen, ohne die gesamte Untersuchung zu kennen. Diese Diagnose kann dann richtig, also vollständig, teilweise richtig (unvollständig) oder falsch sein.

Dann wurde gebeten, sich vorzustellen, die Patientin/der Patient werde stationär überwacht, und am Folgetag, also in 12-24 Stunden, könnte eine MRT-Untersuchung durchgeführt werden. Anschließend wurde gefragt, ob in dieser Situation unbedingt noch eine gesamte Schädel-CT durchgeführt werden sollte oder ob die Überwachung und MRT am nächsten Tag ausreichend ist. Außerdem wurde den Auswerterinnen und Auswertern eine Entscheidung abverlangt, ob die Situation kritisch oder unkritisch ist (also kein unmittelbarer Handlungsbedarf besteht).

Anhand dieser Aussagen kann dann entschieden werden, ob im konkreten Fall bei falsch eingeschätzter Akuität die Patientin/der Patient gefährdet worden wäre, wenn nicht eine komplette CT im Anschluss an eine Einzelschicht-CT durchgeführt worden wäre.

Dann wurde gefragt, wie die Qualität der Schichtaufnahme eingeschätzt wurde. Die Untersuchungen sind teilweise inkrementell, teilweise als Spiral-CT in niedriger Dosis mit 3 bis 5 mm Schichtdicke durchgeführt worden.

Tabelle 2.4: Entscheidungskategorien: Sicherheit der Diagnose „pathologisch“ oder „normal“

1	Sicher nicht pathologisch im Sinne der Fragestellung (also z.B. Druckzeichen bei Z. n. VP-shuntversorgtem Hydrozephalus)
2	Wahrscheinlich nicht pathologisch im Sinne der Fragestellung (also z. B. shuntversorgter Hydrozephalus, keine Dekompensation), erst nach der MRT zu beurteilen
3	Weiß nicht, keine Festlegung ohne weitere Bildgebung möglich
4	Wahrscheinlich pathologisch, erst nach der weiteren Bildgebung oder MRT zu entscheiden
5	Sicher pathologisch im Sinne der Fragestellung

Die Bewertung war (Tabelle 2.5):

Tabelle 2.5: Entscheidungskategorien: Qualität der Aufnahmen

1	Gut beurteilbar
2	Nicht optimal, aber ausreichend
3	Nicht ausreichende Bildqualität

Die Diagnose durfte nur aus einer Tabelle (2.6) mit zwölf möglichen Diagnosen ausgewählt werden.

Tabelle 2.6: Diagnoseschlüssel

1	Blutung
2	Hygrom
3	Hydrozephalus
4	Ischämie
5	Fehlbildung
6	Fraktur
7	Degeneration/Atrophie
8	Neoplasma
9	Operationsfolgen (z. B. Shunt)
10	Normal
11	Hirnödem
12	Überdrainage

Mehrfachnennung waren möglich (z. B. 3,9 = Hydrozephalus, mit Shunt, dekompensiert, oder 5,7,9 = Fehlbildung, mit Atrophie oder Degeneration, nach Shuntoperation, nicht dekompensiert oder 1r (raumfordernde Blutung)).

Außerdem wurde um eine Einschätzung der Akuität gebeten (Tabelle 2.7):

Tabelle 2.7: Entscheidungskategorien der Akuitätsbeurteilung

r	Etwas ist raumfordernd, dekompensiert oder akut bedrohlich
k	Nichts ist raumfordernd, nichts dekompensiert oder nichts ist akut bedrohlich

Beispiel: 3,9r = Hydrozephalus mit Shunt, dekompensiert.

Und zum Abschluss musste die Auswerterin/ der Auswerter entscheiden (Tabelle 2.8), ob

Tabelle 2.8: Entscheidungskategorie: Weiterführende Diagnostik

1	eine sofortige komplette CT gewünscht wird
2	oder eine MRT am Folgetag reicht.

So sind hier zwei Entscheidungen Grundlage für die Einteilung der Antworten der Auswerterinnen und Auswerter in richtig oder falsch:

1. die subjektive Entscheidung für einen pathologischen Befund oder gegen einen pathologischen Befund, ohne die Frage nach einer Therapieindikation aber mit einer Einschätzung der Wahrscheinlichkeit, dass diese Entscheidung stimmt; und
2. der Versuch, aus den Bildern eine Diagnose zu stellen und die Frage nach einer Therapieindikation und weiterer Diagnostik richtig zu beantworten.

2.7 Bestimmung der Lage des Tomogrammes auf Höhe der Foramina Monroi in einer Schädel-CT

Bei 32 der 101 Untersuchungen war ein seitliches Fächerstrahlradiogramm aus der Untersuchung (Topogramm) im elektronischen Bildarchiv gespeichert, auf dem die Lage der Scans eingezeichnet war (Abbildung 2.1). Hier konnte die Position des verwendeten Scans in Höhe der Foramina Monroi indentifiziert werden. Die Lage der hier verwendeten Einzelschicht wird beschrieben durch den Abstand, senkrecht zur Schicht gemessen, zur Schädelbasis (Ebene des Foramen magnum, die in aller Regel auch von der untersten Schicht des Schädel-CT abgebildet wird). Außerdem wurde der Abstand, senkrecht zur Schicht von der Schädelbasis bis zur Scheitelhöhe („Bregma“) bestimmt. Der Quotient aus diesen beiden Strecken wurde ermittelt. Er gibt an, an welcher Stelle auf der Strecke zwischen Basis-Schicht und oberster Schicht (in Höhe des Bregma) die Schicht durch das Foramen Monroi liegt. Diese Schicht liegt im Mittel der 32 Untersuchungen auf einer Höhe von 32,3 % der Strecke von der Basis bis zum Bregma. Die Standardabweichung dieser Messung beträgt 4,1 %, bei einer durchschnittlichen Strecke von 12,7 cm sind das 5 mm. Die Extremwerte der Messungen lagen bei 0,24 % (niedrigster Wert) und 0,4 % (höchster Wert).

Mit diesen Angaben wäre es möglich, die Lage der Schicht durch die Foramina Monroi auf dem Topogramm zu schätzen, indem die Strecke von der untersten der normalerweise durchgeführten Schichten bis zur obersten im Verhältnis 1/3 zu 2/3 geteilt wird (32,3 % sind nahezu 1/3). Die Standardabweichung von 5 mm zeigt an, dass die üblicherweise durchgeführte 5-mm-Schicht zumindest in einem hohen Prozentsatz die gewünschte Ebene erfasst.

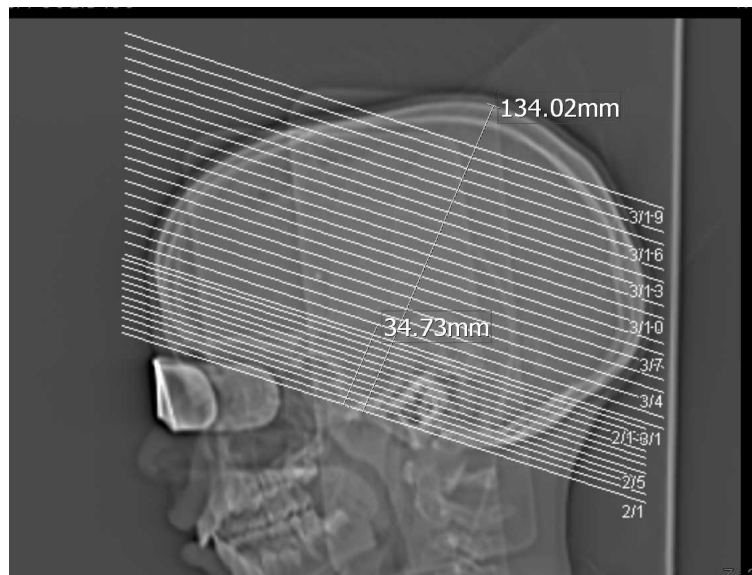


Abbildung 2.1: Messung der Lage der Schicht durch die Foramina Monroi (in diesem Beispiel Schicht 3 der Spirale 3 (3/3); der Abstand zur Schädelbasis ist 3,47; zum Bregma 13,40 cm). Auf den Augen ist ein Strahlenschutz (Bleigummistreifen) aufgebracht, der die Linsen vor einer akzidentiell erfolgten Exposition mit Primärstrahlung schützt. Die Orbita ist regelmäßig nicht im Volumen der Schädel-CT bei Kindern enthalten.

2.8 Statistische Methoden, Strategie der Auswertung

Die Auswerterinnen und Auswerter bekamen eine Excel-Datei, die das Geburtsdatum und eine Anamnese sowie eine Identifikationsnummer mit dem Jahr der Untersuchung der Patientinnen und Patienten enthielt und die mit der Identifikationsnummer auf den Einzelschicht-Aufnahmen der Patienten-CD übereinstimmte. Bei der Auswertung trugen die Auswerterinnen und Auswerter dann die von ihnen erhobenen Befunde, Diagnosen und Entscheidungen (MRT oder CT) in diese Excel-Tabelle ein. Die einzelnen Tabellen wurden schließlich in einem Excel-Datenblatt mit allen Angaben zu allen Patientinnen und Patienten zusammengeführt.

Auswertung der Diagnoseschlüssel: Die von den Auswerterinnen und Auswertern gestellten Diagnosen wurden mit den definitiven Diagnosen, die aufgrund der vollständigen

Untersuchung, der Vor- und Folgeuntersuchungen und der klinischen Angaben gestellt wurden, verglichen. Dabei wurde in folgende Kategorien eingeteilt (Tabelle 2.9):

Tabelle 2.9: Beurteilung der Richtigkeit der Diagnosestellung und der richtigen Einschätzung der Akuität

1	Die Diagnose ist komplett richtig
2	Die Diagnose ist teilweise richtig (eine oder mehrere Hauptdiagnosen wurden nicht gestellt oder falsch gestellt), aber die Akuität wurde richtig eingeschätzt
3	Die Hauptdiagnosen sind falsch, aber die Akuität wurde richtig eingeschätzt
4	Diagnose ist richtig oder teilweise richtig, aber die Akuität (raumfordernd/bedrohlich oder nicht) wurde falsch eingeschätzt
5	Die Diagnose ist komplett falsch, auch die der Akuität
6	Untersucher hat keine Diagnose angegeben („missing value“)

Zusätzlich wurden die Patienten als „kritisch“ (c) bezeichnet, bei denen die Auswerterinnen und Auswerter eine kompensierte Situation beschrieben haben, obwohl eine therapiebedürftige Situation bestand. Wenn in einer kritischen („c“) Situation auch keine weitere Diagnostik verlangt wurde, wurde der Fall als potentiell gefährlich für das Kind („G“) gekennzeichnet und bei einer kompletten CT als ungefährlich („U“) eingestuft.

Eine Fehleinschätzung der Akuität, d.h. eine klinisch stabile Situation wurde als akut eingeschätzt, wurde als falsch-positive Diagnose („f“) bezeichnet. Wenn eine quasi unnötige CT angefordert wurde, wurde der Fall als überdiagnostiziert („D“) klassifiziert.

Nach diesem Schlüssel sind die Noten eins bis drei mit der richtigen Einschätzung der Akuität verbunden.

Die Ergebnisse der Auswerterinnen und Auswerter wurden betrachtet. Dabei wurde folgenden Fragen nachgegangen und folgende Analysen vorgenommen:

1. Die Entscheidungen, ob eine Untersuchung im Sinne der Fragestellung pathologisch ist, wurden mit einer ROC-Analyse dargestellt.
2. Die Übereinstimmung des Goldstandards mit den Diagnosen der Auswerterinnen und Auswerter wurde deskriptiv dargestellt (mit der „Note“ nach der Tabelle 2.9).
3. Die „Entscheidungsfreudigkeit“ der einzelnen Auswerterinnen und Auswerter (MRT oder CT) wurde mit einer deskriptiven Analyse dargestellt.
4. Die Zahl der „kritischen“ Entscheidungen und die potentiell gefährlichen Situationen wurden in Bezug auf die Gesamtzahl der Entscheidungen beziehungsweise der kritischen Patientinnen und Patienten mit einer deskriptiven Analyse auswerterinnen- und auswerterabhängig darstellt.

5. Die Beurteilung der Bildqualität wurde deskriptiv und auswerterinnen- und auswerterabhängig dargestellt.
6. Weiterhin wurde deskriptiv dargestellt, bei welchen der beiden häufigsten Diagnosen welche Fehler gemacht wurden, d.h., bei welchen Hauptdiagnosen wurden potentiell gefährliche Entscheidung getroffen, bei welcher Hauptdiagnose wurden die meisten richtigen Befunde erstellt? Die „Noten“ der Auswerterinnen und Auswerter wurden wie folgt zusammengefasst: Solange die Akuität richtig eingeschätzt wurde, wurde die Diagnose als zumindest teilweise richtig angesehen. Erst wenn die Akuität – unabhängig von der Richtigkeit der Diagnose – nicht korrekt eingeschätzt wurde, wurde eine „Fehldiagnose“ attestiert.
7. Es wurde geprüft, wie gut die Entscheidungen der Auswerterinnen und Auswerter bei den Kindern mit unauffälliger Schädel-CT waren.
8. Die auswerterinnen- und auswerterabhängige Beurteilung wurde unter dem folgenden Aspekt untersucht: Gibt es einen Unterschied zwischen den Entscheidungen von gering erfahrenen (Assistenzärztinnen und Assistenzärzten), erfahreneren Kollegen (mit Ausbildungsabschnitten in pädiatrischer Neuroradiologie) und sehr erfahrenen Kollegen (Radiologen oder Fachärzten der neurologischen Fächer)?

Dabei wurde als statistisches Verfahren die ROC-Analyse eingesetzt. Das Akronym steht für „Receiver Operating Characteristics“. Sie liefert ein Maß für die „Trennschärfe“ eines diagnostischen Verfahrens in Abhängigkeit von der Wahl der Empfindlichkeit. Die Methode ist anwendbar, wenn ein diagnostischer Test auf einer ordinalen Bemessungsskala oder auf Messwerten beruht, die eine Interpretation im Sinne eines positiven oder negativen Befundes erlauben. Es muss bei der Analyse der Daten ein Goldstandard vorliegen, der die tatsächlichen Verhältnisse klärt. Die zu beurteilende Methode liefert Messwerte. Diese können durch die Festlegung einer Entscheidungsschwelle in pathologisch oder nicht pathologisch getrennt werden. Je nach der Lage der Entscheidungsschwelle ändert sich die Sensitivität und Spezifität der Methode. Für jede Entscheidungsschwelle lässt sich die falsch-positive Fraktion und die Sensitivität errechnen. Stellt man in einem Diagramm die Rate der falsch-positiven Entscheidungen (x-Achse) und die Sensitivität (y-Achse) für die verschiedenen Entscheidungsschwellen dar, entsteht idealerweise eine bogenförmige Kurve wie in Abbildung 2.2 dargestellt. Für ein radiologisches Verfahren, bei dem es keinen Messwert als Grundlage für eine Entscheidungsschwelle gibt, wird eine alternative Methode vorgeschlagen, um die Sicherheit der Diagnose in einem Stufenschema wiederzugeben. Die Diagnose wird vom Untersucher in fünf unterschiedlichen „Sicherheitsgraden“ gestellt (siehe Tabelle 2.4): sicher pathologisch, wahrscheinlich pathologisch, nicht zu entscheiden,

wahrscheinlich nicht, sicher nicht pathologisch. Wenn nun für die fünf unterschiedlich „sicheren“ Diagnosen der Vergleich zum Goldstandard angestellt wird, können die falsch-positive Rate und die Sensitivität errechnet werden. Es ergeben sich vier mögliche Entscheidungsschwellenwerte, mit denen sich eine ROC-Kurve wie in Abbildung 2.2 erstellen lässt (Guggenmoos-Holzmann und Wernecke 1996). Die Fläche unter dieser Kurve (Area under curve) ist ein Maß für die Qualität der Befundung. Idealerweise ist die Fläche fast bei 1, also läuft die ROC-Kurve entlang der y-Achse nach oben und dann entlang der Geraden bei $y = 1$ nach rechts. Eine Gerade, die als Winkelhalbierende diagonal von links unten nach rechts oben verläuft, würde bedeuten, dass die falsch-positive Rate gleich der Sensitivität ist, und die Messwerte für pathologische und gesunde Fälle gleich sind, die Methode somit keinen Unterschied zwischen pathologisch und gesund wahrnehmen könnte. Damit wäre die Methode nicht zur Diagnostik geeignet. Die Fläche unter dieser Diagonale ist 0,5. Je besser der Test beziehungsweise der Untersucher ist, umso rechteckiger wird die Kurve. In der Radiologie testet die ROC-Analyse das System aus Bilderzeugung, Bildbetrachtung (z.B. Monitor), Untersucher (z.B. Ausbildungsstand) zur Gewinnung einer Diagnose. Darum wurde dieses Verfahren – wie in der Radiologie häufig angewandt – hier eingesetzt (Metz 1986).

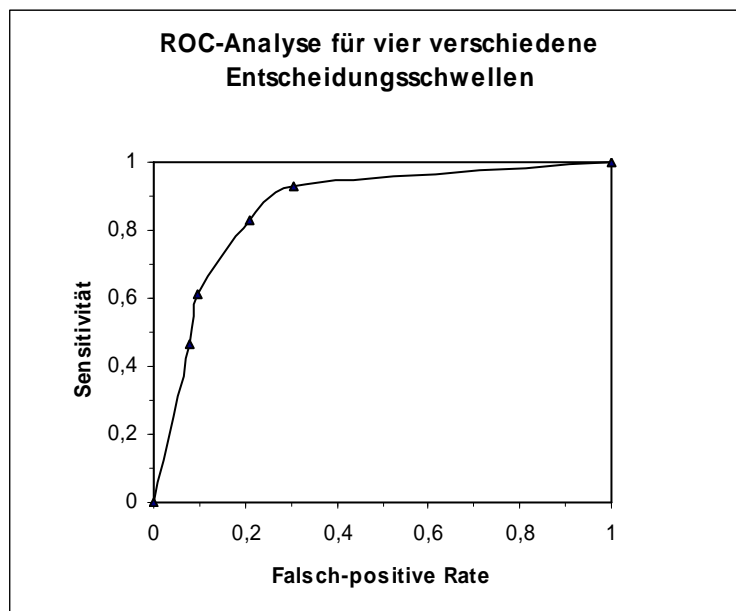


Abbildung 2.2: ROC-Kurve (Beispiel aus der vorliegenden Dissertation)

Für die Beschreibung der von den Auswerterinnen und Auswertern erhobenen Befunde und die Darstellung der Ergebnisse wurden einfache deskriptive statistische Verfahren angewendet. Die Berechnung der ROC-Analyse und die deskriptive Datenanalyse wurden mit Hilfe der Arbeitsgruppe medizinische Statistik des Institutes für medizinische Informatik

der Justus-Liebig-Universität Gießen mittels der Statistikprogramme SAS Version 9.2 (SAS Institute, Cary, North Carolina, United States of America) und SPSS Version 17.0 (SPSS Incorporated, Chicago, Illinois, United States of America) vorgenommen. Die Graphen wurden mit SAS und (überwiegend) mit dem Excel-Datenverwaltungsprogramm (Microsoft Office Softwarepaket, Excel 2002) erstellt und die Parameter der linearen Regressionsanalysen berechnet.

Die für diagnostische Tests üblichen aus der Vierfeldertafel berechneten Qualitätsmerkmale waren die Sensitivität, Spezifität, falsch-positive Fraktion und falsch-negative Fraktion. Die Anzahl der Diagnosen (z.B. richtige) wurde summiert, für die einzelnen Auswerterinnen und Auswerter und für alle Auswerterinnen und Auswerter zusammen wurden Mittelwerte, Median, Standardabweichung der Stichprobe, Spannweite bei der Beurteilung der verschiedenen Fraktionen (z.B. richtig-positive) verwendet. Es wurden keine statistischen Testverfahren für die deskriptive Statistik angewendet; für die ROC-Analyse wurden die Lagemaße Standardfehler, Konfidenzintervall und asymptotische Signifikanz berechnet.

Die Anzahl der Auswerterinnen und Auswerter in den Gruppen mit unterschiedlicher Erfahrung (gering, mittel, hoch) ist nicht groß genug, um eine statistische Absicherung der Ergebnisse zu ermöglichen.

2.9 Beurteilung der Reproduzierbarkeit der Auswertung

Zu diesem Zweck wurden die Dreifachbestimmungen durch einen der Auswerter analysiert. Im Idealfall hätten alle drei Befundungen zu denselben Ergebnissen führen müssen. Um diese Übereinstimmung zu überprüfen, wurden die Noten der drei „Durchgänge“ miteinander verglichen und damit der Anteil der in allen drei Versuchen übereinstimmenden Diagnosen bestimmt. Außerdem wurde verglichen, ob bei den Durchgängen die CT-Indikation und die Note für die Bildqualität übereinstimmten.

3 Ergebnisse

3.1 Dosis einer Einzelschicht-CT

Die Dosis einer Untersuchung ist bei einer inkrementellen CT aus der Summe der Einzeldosen der Schichten zu berechnen. Damit kann eine Abschätzung der Strahlenexposition erfolgen, indem man die Dosisangaben für die einzelne Untersuchung

durch die Zahl der angefertigten Schichten teilt. Bei unserer Stichprobe (Kapitel 2.3), also bei etwa 29 Schichten, wäre die Dosis dann $1/29$ oder 3,4 % einer gesamten Untersuchung. Bei der Messung am Phantom (Topogramm) wurden auf der Eintrittseite (Doppelbestimmung) 290 und 294 μGy und auf der Austrittseite zweimal 22 μGy gemessen. Die absorbierte Dosis wäre damit auf etwa 270 μGy geschätzt. Das bestrahlte Volumen ist dabei der gesamte Hirnschädel und Anteile des Halses. Die Oberflächendosis für einen einzelnen Scan liegt deutlich über der eines Topogrammes (unabhängig von der Seite, da die Röhre ja zirkuliert (eine Rotation pro Sekunde)). In dieser Untersuchung liegt sie bei 21,2 und 23,0 mGy (Spiral-CT, Doppelmessung) und 18,8 mGy (in der Bildebene) und 0,28 mGy (2,5 cm neben der Bildebene). Üblicherweise wird bei der Schädel-CT davon ausgegangen, dass die Tiefenverteilung der Dosis so beschaffen ist, dass im Zentrum des Messvolumens noch 75 % der Oberflächendosis messbar sind (Linke und Pfeiler 1987). Die Dosis für die Hirnstrukturen im Nutzstrahl dürfte also unter etwa 20 mGy bei den gewählten Untersuchungsparametern liegen. Wenn die Dosis einer Einzelschicht-Untersuchung nach dem Konzept der effektiven Dosis auf den ganzen Körper umgerechnet wird, dann wird aufgrund des geringen Volumens und der geringen Menge des bestrahlten Gewebes die Dosis deutlich niedriger liegen, wie bereits beschrieben, sind es 3,4 % einer Effektivdosis einer gesamten Schädel-CT. Die Effektivdosiswerte einer Schädel-CT werden auf etwa 4,5 mGy geschätzt (Bittner und Rossdeutscher, 1996), das ist ca. ein Viertel der Energiedosis von etwa 20 mGy. Demnach wäre die Dosis der Einzelschicht 0,153 mGy und damit ungefähr viermal so hoch wie bei einer Röntgen-Thoraxaufnahme. Die Dosis des Topogrammes (in dieser Schätzung 0,27 mGy Energiedosis) kommt noch dazu. Wenn die effektive Dosis am Schädel ein Viertel der Energiedosis ausmacht, dann wäre die Dosis des Topogrammes mit 0,07 mGy zu schätzen. Das ergibt für die effektive Strahlendosis der gesamten Einzelschicht-CT, die sich aus der Dosis des Topogrammes und des Tomogrammes zusammensetzt, etwa 0,22 mSv oder fünf bis sechs Thoraxaufnahmen (ein Thoraxröntgenbild wird mit einer Effektivdosis von 0,04 mSv geschätzt).

Nach Herstellerangaben (Firma Siemens, Forchheim, persönliche Mitteilung) für ein Somatom Balance ergeben sich für ein Topogramm mit 12 cm Scanlänge im Kopf- und 4 cm im Halsbereich in Abhängigkeit vom Alter effektive Dosiswerte von 0,0274 (Neugeborenes), 0,0176, 0,0126, 0,0096 mSv (für ein ein-, fünf- bzw. zehnjähriges Kind). Für die Tomogramme einer Schädel-CT (Scanlänge 12 cm) werden bei einer Röhrenspannung von 130 kV und einem allerdings niedrig angesetzten Röhrenstrom von 1000 mAs (also 10 s mal 100 mAs) Werte von 4,5144 mSv (Neugeborenes), 2,7497, 1,6416, 1,3133 mSv (für ein ein-, fünf- bzw. zehnjähriges Kind) angegeben. Nach diesen Herstellerangaben ist die Dosis des Somatom Balance für eine Schädel-CT bei älteren Kindern deutlich niedriger als die

Angaben für die Effektivdosis aus der Literatur (Bittner und Rossdeutscher, 1996). Wenn man von 29 Einzelscans ausgeht, so errechnet sich eine Dosis von 0,1881 (Neugeborenes), 0,1146, 0,0684, 0,0547 mSv (für ein ein-, fünf- bzw. zehnjähriges Kind). Insgesamt sind es also für ein zehnjähriges Kind 0,0643 mSv für ein Topogramm und einen Scan, das wären in dieser Schätzung also ein Äquivalent von ein bis zwei Thoraxaufnahmen.

3.2 Analyse des Goldstandards

Bei 50 Patientinnen und Patienten wurde die Diagnose „Normale Schädel-CT“ (Schlüsselnummer 10) und als Akuität der Diagnose dementsprechend „nicht akut bedrohlich“ (Schlüssel „k“) gestellt. 51 Untersuchungen waren demnach auffällig. Die Diagnosen verteilen sich wie in der folgenden Tabelle (Tabelle 3.1) aufgeführt: Die Diagnose „Hirnödem“ wurde bei den untersuchten Patienten aufgrund der vollständigen CT-Untersuchung und des Verlaufes nicht gestellt. Einige Auswerter haben dann unabhängig voneinander bei mehreren Untersuchungen die Diagnose Hirnödem vermutet, leichte Formen einer Hirnschwellung sind letztlich nicht von einem besonders schmalen Ventrikelsystem zu unterscheiden.

31 der als „nicht normal“ eingestuften Untersuchungen wurden nach dem Goldstandard als „r“ (also raumfordernde, akute, potentiell bedrohliche Pathologie) eingestuft, 20 wurden als „k“ (also keine bedrohliche Pathologie) bewertet.

Tabelle 3.1: Diagnosen der 101 Untersuchungen (Goldstandard) mit Haupt- und Nebendiagnosen (in Klammern Diagnoseschlüssel nach Tabelle 2.6)

Hauptdiagnose (Diagnoseschlüssel)	Anzahl	Nebendiagnosen (Schlüssel)	Akut bedrohlich	Nicht akut bedrohlich
Normalbefund (10)	50		0	51
Blutung (1)	9	Dreimal mit Fraktur als Ursache (6), einmal Fehlbildung (5), einmal mit begleitender Ischämie (4)	9	0
Hydrozephalus (3)	20	Alle 20 mit Shuntversorgung (9), viermal Überdrainage (12)	7	13
Fehlbildung (5)	5		1	4
Fraktur (6)	5		2	3
Ischämie (4)	4		4	0
Neoplasma (8)	4		3	1
Atrophie/Dystrophie (7)	3	Einmal mit Shunt (9)	0	3
Hygrom (2)	1		0	1

Von den 101 beobachteten Patientinnen und Patienten sind drei zu Tode gekommen, zwei davon zu einem späteren Zeitpunkt, eine(r) innerhalb des Behandlungszeitraumes, in dem die CT durchgeführt wurde. Alle sind nicht an den Folgen der Schädelproblematik verstorben. Eine Reihe der Patientinnen und Patienten waren neurologisch auffällig, z.B. entwicklungsverzögert, oder hatten inkomplette Paresen, z.B. nach einer Ischämie, deren Prognose nicht durch die Diagnostik verbessert wurde.

3.3 Ergebnisse der Auswerterinnen und Auswerter: ROC-Analyse

Die Abbildung 3.1 zeigt die ROC-Kurven der Auswertungen 1 bis 19. In Tabelle 3.2 werden die Ergebnisse der Berechnung der Area under curve wiedergegeben. Der Gesamtdurchschnitt (ohne die Mehrfachmessungen eines Auswerter) für die 16 Personen beträgt 0,789. Für die besonders erfahrenen Auswerterinnen und Auswerter 2, 3, 9 bis 13 und 19 sind die Flächen im Mittel 0,787, für die mittelgradig erfahrenen Auswerterinnen und Auswerter 0,799, für die geringgradig erfahrenen 0,778, also sind – wie in der Graphik erkennbar – die Unterschiede zwischen den einzelnen Auswertergruppen in dieser Darstellungsweise nicht wahrzunehmen. Der Auswerter mit dem höchsten Wert für die Area under curve (Auswerter 9) ist ein neurochirurgischer Facharzt mit viel Erfahrung (0,885), der niedrigste Wert (0,661) wurde bei einem erfahrenen Auswerter mit kinderradiologischem Schwerpunkt beobachtet. Der Standardfehler lag zwischen 0,037 bis 0,064. Die Kurvenschar liegt nicht eng beieinander, es ist eine Streuung der Auswerter (Abbildung 3.1) erkennbar. Auch bei der Mehrfachauswertung (Abbildung 3.2) durch einen erfahrenen Kinderradiologen ist ein Unterschied auszumachen zwischen den drei Beobachtungen, die in etwa im Monatsabstand durchgeführt wurden, im dem Sinne, dass eine „Lernkurve“ mit einer Verbesserung der Ergebnisse zu beobachten ist. Die Area under curve steigt an (0,774, 0,816, 0,882), der Standardfehler wird kleiner. Die letzte Auswertung hat mit 0,882 die größte Fläche unter der Kurve, die in dieser Untersuchung beobachtet wurde, was natürlich durch den Lerneffekt und die Tatsache erklärt wird, dass der Auswerter nicht „geblindet“ war. Diese Kurve stellt aber den „Idealfall“ für eine Auswertung dar. Die asymptotische Signifikanz von in allen Fällen $< 0,002$ bedeutet, dass es einen statischen Unterschied zur Zufallswahrscheinlichkeit gibt.

Die ROC-Kurven für die 16 geblindeten Auswerterinnen und Auswerter sind in der Abbildung 3.3 wiedergegeben. Einen fast idealen Verlauf beschreiben in Abbildung 3.3 die oberste, hellgrau dargestellte Kurve (Auswerter 9) und die rote Kurve (Auswerterin 6). Der erstere Auswerter ist ein in der Kinderneurochirurgie sehr erfahrener Arzt, die zweite Auswerterin hatte eine geringe Erfahrung.

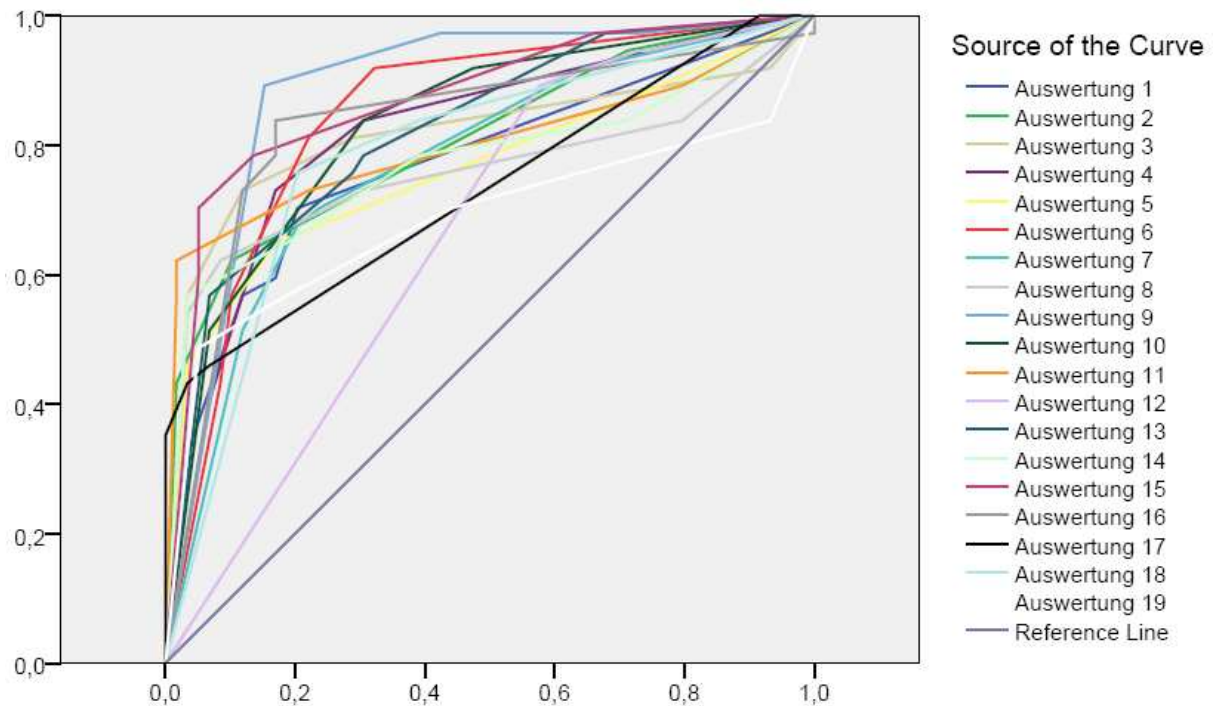


Abbildung 3.1: ROC-Kurven für alle Auswertungen. Abszisse (X-Achse): 1-Spezifität; Ordinate (Y-Achse): Sensitivität. Source of the Curve = Quelle der Kurve.

Tabelle 3.2: Area under curve für die in Abbildung 3.1 gezeigten ROC-Kurven. Area = Fläche unter der Kurve, Std Error = Standardfehler, Asymptotic Sig. = asymptotische Signifikanz, Asymptotic 95 % Confidence Interval = 95- %Konfidenzintervall.

Test Result Variable(s)	Area	Std. Error ^a	Asymptotic Sig.	Asymptotic 95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
Auswertung 1	,773	,052	,000	,670	,876
Auswertung 2	,807	,048	,000	,714	,901
Auswertung 3	,817	,053	,000	,714	,920
Auswertung 4	,819	,046	,000	,729	,909
Auswertung 5	,764	,054	,000	,658	,871
Auswertung 6	,847	,042	,000	,766	,928
Auswertung 7	,776	,050	,000	,678	,873
Auswertung 8	,760	,058	,000	,645	,874
Auswertung 9	,885	,037	,000	,813	,958
Auswertung 10	,831	,043	,000	,747	,916
Auswertung 11	,802	,054	,000	,697	,907
Auswertung 12	,661	,055	,008	,553	,769
Auswertung 13	,823	,044	,000	,737	,909
Auswertung 14	,774	,055	,000	,666	,882
Auswertung 15	,874	,039	,000	,798	,950
Auswertung 16	,834	,048	,000	,741	,927
Auswertung 17	,732	,055	,000	,623	,840
Auswertung 18	,787	,050	,000	,689	,884
Auswertung 19	,686	,064	,002	,561	,811

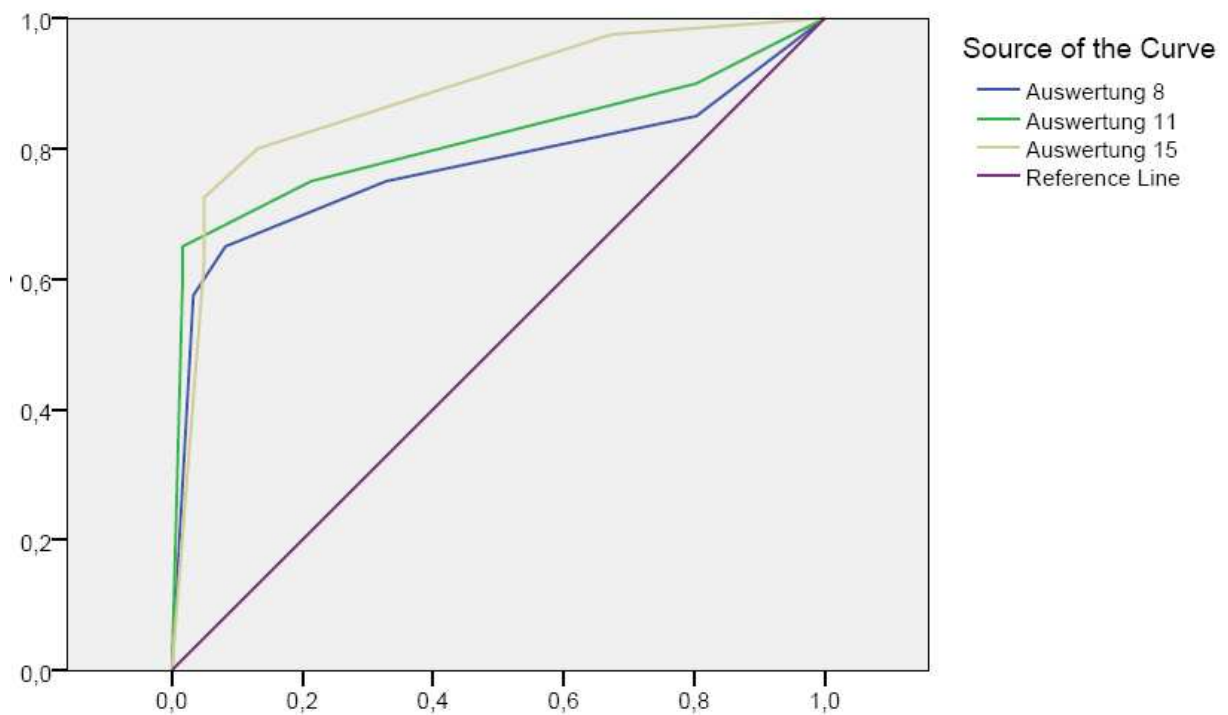


Abbildung 3.2: ROC-Kurven für die Mehrfachauswertung eines Auswerters (Reproduzierbarkeit). Abszisse (X-Achse): 1-Spezifität; Ordinate (Y-Achse): Sensitivität. Source of the Curve = Quelle der Kurve

Tabelle 3.3: Area under curve für die in Abbildung 3.2 gezeigten ROC-Kurven. Area = Fläche unter der Kurve, Std Error = Standardfehler, Asymptotic Sig. = Asymptotische Signifikanz, Asymptotic 95 % Confidence Interval = 95- %-Konfidenzintervall

Test Result Variable(s)	Area	Std. Error ^a	Asymptotic Sig.	Asymptotic 95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
Auswertung 8	,774	,055	,000	,666	,882
Auswertung 11	,816	,050	,000	,718	,915
Auswertung 15	,882	,037	,000	,810	,954

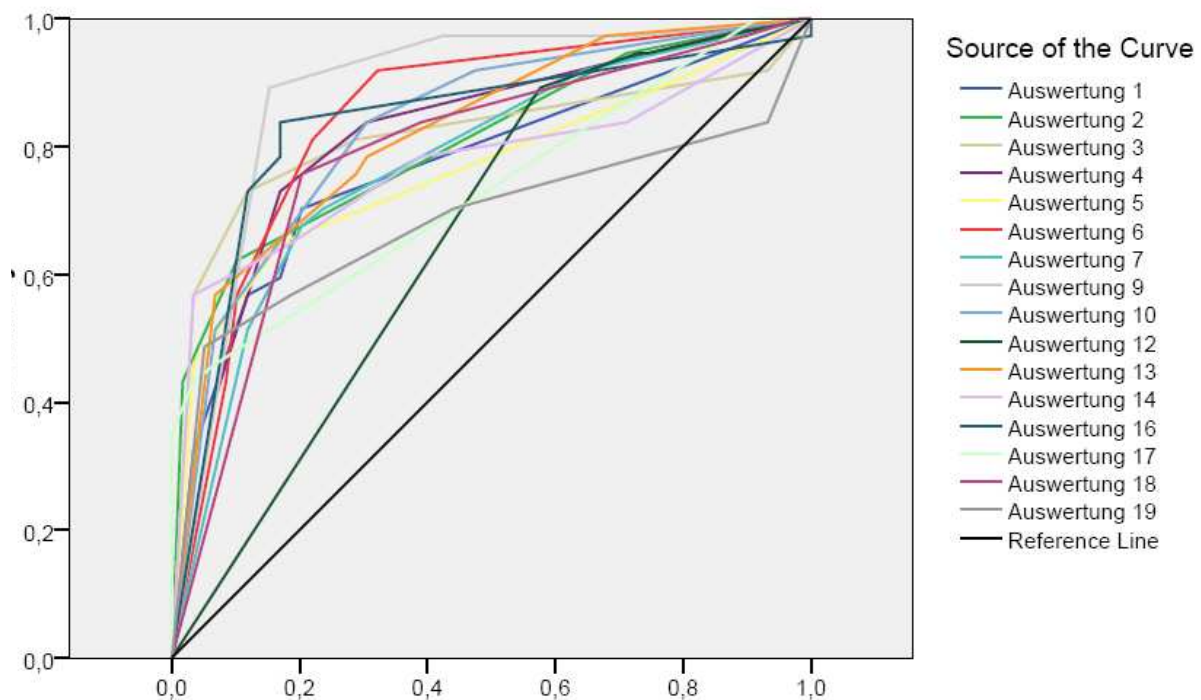


Abbildung 3.3: ROC-Kurven für die Auswertungen ohne die Mehrfachauswertungen. Abszisse (X-Achse): 1-Spezifität; Ordinate (Y-Achse): Sensitivität. Source of the Curve = Quelle der Kurve

3.4 Ergebnisse der Auswerterinnen und Auswerter: Deskriptive Analyse

3.4.1 Übereinstimmung des Goldstandards mit den Diagnosen der Auswerterinnen und Auswerter

Den Auswerterinnen und Auswertern wurden für ihre Befunde zu den einzelnen Patienten Noten von 1 bis 6 gegeben (in Anlehnung an Schulnoten, Definition siehe Tabelle 2.9). Zwei Auswerter (6 und 8) waren bei der Erstellung des Goldstandards beteiligt. Auswerterin 6 hatte aber zum Zeitpunkt der Beurteilung der Bilder noch keine Kenntnis von den Goldstandard-Diagnosen. Auswerter 8 diente als Kontrolle, er hatte die Bilder dreimal (nach der Erstellung des Goldstandards) vorliegen und sollte eigentlich eine große Übereinstimmung mit den Goldstandard-Diagnosen liefern und bei mehrfacher Durchsicht immer zu denselben Entscheidungen kommen. In den Tabellen 9.1 bis 9.5 im Anhang ab Seite 60 ist für die einzelnen Noten (für Diagnosestellung, Beurteilung der Akuität) das Verhältnis aus der Anzahl der Patienten pro Note und der Gesamtzahl der Patienten in den einzelnen Untergruppen (alle Untersuchungen, normale, pathologische Untersuchungen ohne akute Notsituation und solche mit akuter Notsituation) in Prozent angegeben. Die Noten 1 bis 3 sind zu einem Wert zusammengefasst, also die Beurteilungen der Auswerterinnen und Auswerter, bei denen die Akuität richtig eingeschätzt wurde. Für alle Auswerterinnen und Auswerter und die genannten Untergruppen der Diagnosen sind die

Mittelwerte der in diesem Sinne „richtigen“ Diagnosen (Noten 1 – 3) in der Tabelle 3.4 wiedergegeben.

Tabelle 3.4: Häufigkeiten der richtigen Diagnosen (Noten 1 - 3) die Akuität der Erkrankung betreffend, Angaben der Häufigkeiten in % von der Gesamtzahl der vergebenen Noten

Durchschnitte aller AuswerterInnen	Zahl der Untersuchungen	Median	Mittelwert	Spannweite
Alle Untersuchungen	101	74,26	74,29	50,50 – 83,17
Nur normale Untersuchungen	50	88,00	82,88	36,00 – 100,00
Nur pathologische (akut bedrohlich)	31	54,84	57,86	38,71 – 87,10
Nur pathologische (nicht akut bedrohlich)	20	80,00	76,56	50,00 – 100,00

Die Häufigkeit von 74,29 % für die Diagnosen 1 – 3 bedeutet, dass etwa 25 % aller Befunde in der Kategorie „schlechter als Note 3“ einzustufen sind. Insgesamt wurde nur sechsmal keine Beurteilung abgegeben (Note 6 auf der Skala in Tabelle 2.9), was als „missing value“ eingestuft wurde.

3.4.2 „Entscheidungsfreudigkeit“ der einzelnen Auswerterinnen und Auswerter (MRT oder CT)

Die Indikation zu einer kompletten CT-Untersuchung wurde von den 16 Auswerterinnen und Auswertern in sehr unterschiedlichem Maße gestellt. Insbesondere bestand bei einigen Auswerterinnen und Auswertern die Tendenz, obwohl die richtige Diagnose „Normalbefund“ gestellt wurde, eine komplette CT anzufordern. In der Tabelle 3.5 ist die Zahl der indizierten Untersuchungen in Abhängigkeit vom Grad der Erfahrung und in Verbindung mit der Zahl der richtigen Entscheidungen für die einzelnen Auswertungen angegeben. Also hat z.B. Auswerterin oder Auswerter 1 in 80 % der Fälle die Noten 1, 2 oder 3 bekommen und hätte „nur“ in 24 von 101 Fällen eine CT komplett durchführen lassen. Auswerter 12 hätte 47 CT-Untersuchungen durchgeführt; seine Bewertungen sind in 51 % der Fälle richtig (Note 1 – 3).

Offensichtlich hat der Grad der Erfahrung keinen erkennbaren Einfluss auf die Zahl der angeforderten CT (Abbildung 3.4). Die besonders erfahrenen Untersucher hatten im Mittel 43 CT indiziert, die mittlere Gruppe 48, und die unerfahrenen hatten 38 CT indiziert. Das arithmetische Mittel der CT-Anforderungen aller Auswerter beträgt 43,63 %, also haben die Auswerterinnen und Auswerter etwa in der Hälfte der Fälle auf eine CT-Anforderung verzichtet (Median 46,00 %, Spannweite 24,00 bis 69,00 %).

Tabelle 3.5: Anzahl der angeforderten CT und Grad der Erfahrung des Auswerter (h = hoch, m = mittel, g = gering)

Auswerter	1	2	3	4	5	6	7	9	10	12	13	14	16	17	18	19	Durchschnitt
Erfahrung	g	h	h	g	m	m	m	h	h	h	h	m	m	g	g	h	
CT	24	28	39	32	60	39	27	47	51	47	35	69	45	50	47	58	44
Noten 1-3 in aller Noten	80	80	74	81	77	81	81	64	72	51	70	71	83	82	68	74	74,01

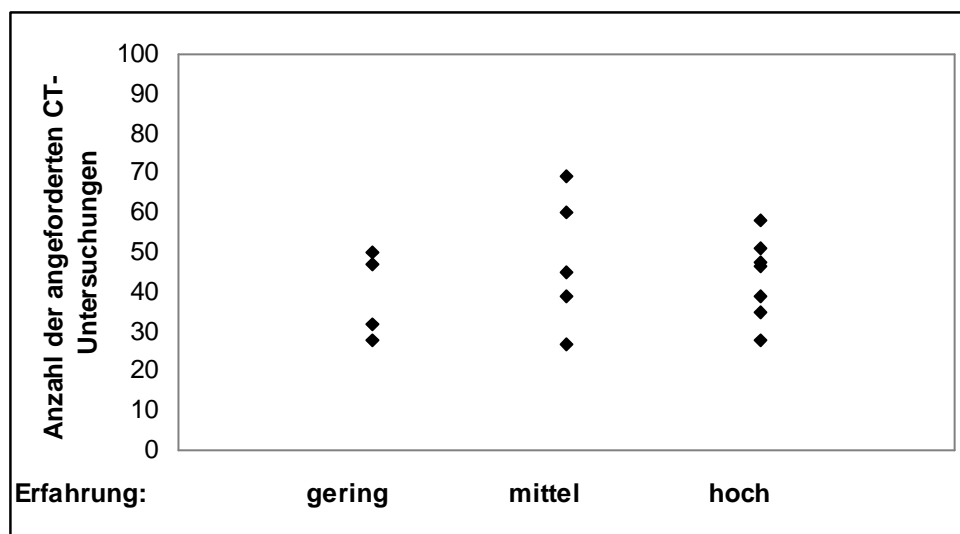


Abbildung 3.4: Grad der Erfahrung der Untersucher und Anzahl der angeforderten CT-Untersuchungen (von insgesamt 101 Untersuchungen)

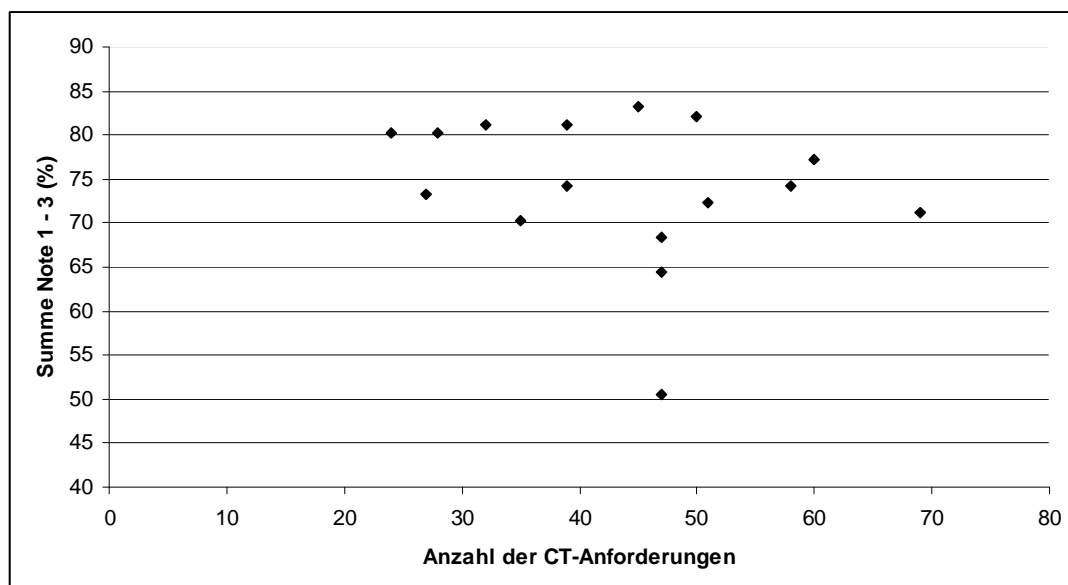


Abbildung 3.5: Darstellung der Noten der 16 Auswertungen in Abhängigkeit von der Anzahl der angeforderten CT-Untersuchungen

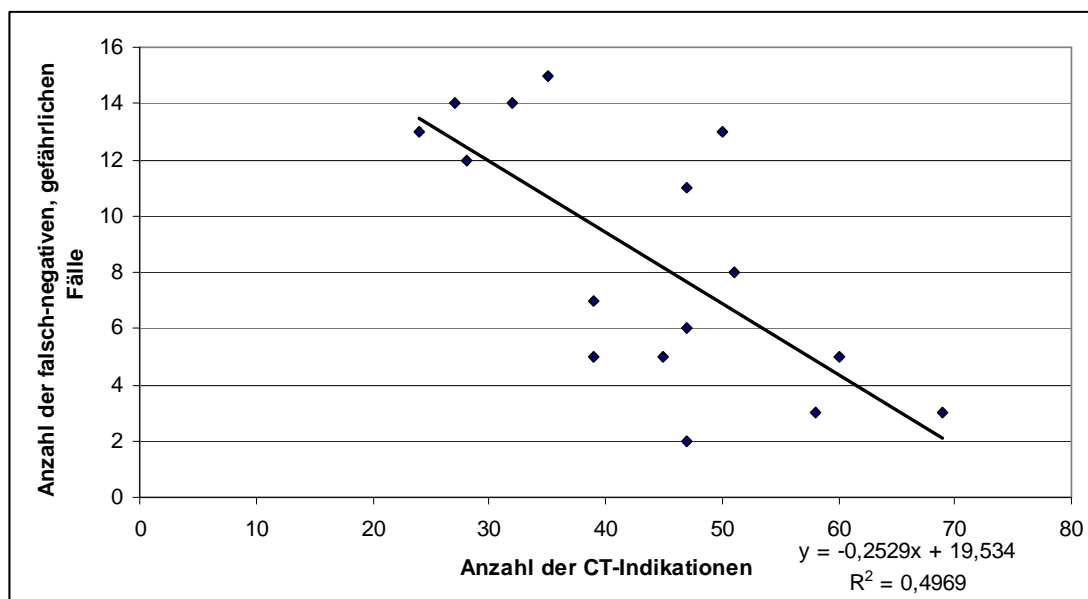


Abbildung 3.6: Anzahl der falsch-negativen Fälle, bei denen keine CT angefordert ist, im Zusammenhang mit der Gesamtzahl der CT-Indikationen

In Abbildung 3.5 ist der Zusammenhang zwischen der Anzahl der angeforderten CT-Untersuchungen und der Beurteilungsqualität dargestellt: Offensichtlich ist keine Korrelation zwischen der Güte der Befundung und der Anzahl der CT festzustellen. Abbildung 3.6 zeigt, dass es einen Zusammenhang zwischen der Anzahl der CT-Indikationen (X-Achse) und der Anzahl der falsch-negativen, gefährlichen Fälle gibt: Also hat ein Untersucher, der besonders viele CT indiziert, natürlich weniger Fälle, in denen er eine falsch-negative Diagnose übersehen hat.

3.4.3 Kritische und gefährliche Entscheidungen

In Tabelle 3.6 ist die Anzahl der kritischen, d.h. falsch-negativen Fälle angegeben, bei denen die Auswerterinnen und Auswerter eine akutpathologische Situation nicht richtig eingeschätzt haben.

Im arithmetischen Mittel bezogen auf alle 101 Fälle und alle Auswerterinnen und Auswerter beträgt die Rate der kritischen (c) (Fehl-)Diagnosen oder falsch-negativen Diagnosen 13 %, die der falsch-positiven 13 %, die der gefährlichen Fehlentscheidungen (G) 9 % und die der ungefährlichen (U) 5 %. Kritische Fehldiagnosen können nur bei akut pathologisch erkrankten Patientinnen und Patienten vorkommen. Die Frequenz dieser Fehldiagnosen bezogen auf die 31 akut pathologischen Fälle war dementsprechend höher (Tabelle 3.6), im arithmetischen Durchschnitt 42 %. Falsch-positive Befunde in Bezug auf die Akuität der

Tabelle 3.6: Anzahl der Fehlentscheidungen der Auswerterinnen und Auswerter

Auswertung	1	2	3	4	5	6	7	9	10	12	13	14	16	17	18	19	Durchschnitt
Kritische Fehldiagnosen	15	19	16	18	14	13	17	14	11	11	16	8	6	16	4	10	13
Kritische Fehldiagnose in % der akut pathologischen	48	61	52	58	45	42	55	45	35	35	52	26	19	52	13	32	42
Falsch-positive Fehldiagnosen	6	1	10	1	9	6	11	14	17	39	14	21	11	2	28	16	13
Falsch-positive in % der Normalbefunde und nicht akuten Befunde	9	1	14	1	13	9	16	20	24	56	20	30	16	3	40	23	18
Gefährliche Fehldiagnosen	13	12	7	14	5	5	14	11	8	6	15	3	5	13	2	3	9
Gefährliche Fehldiagnosen in % der akut pathologischen	42	39	23	45	16	16	45	35	26	19	48	10	16	42	6	10	27
Ungefährliche Fehldiagnosen	2	7	9	4	9	8	3	2	3	5	1	5	3	3	2	7	5
Ungefährliche Fehldiagnosen in % der akut pathologischen	6	23	29	13	29	26	6	6	10	16	3	16	10	10	6	23	15
Zahl der CT-Anforderungen	24	28	39	32	60	39	27	47	51	47	35	64	45	50	47	55	44

Erkrankung können nur bei nicht akut pathologischen Fällen oder bei Normalbefunden entstehen, daher ist die Frequenz im Mittel bei 18 %. Bei einigen falsch-negativen Fehldiagnosen war nicht die Indikation zu einer kompletten CT gestellt worden, diese Auswertungen wurden als „G“ (potentiell gefährlich) bezeichnet. Im Durchschnitt war diese Situation in 27 % der akut pathologischen Fälle entstanden. Bei 15 % der falsch-negativen Fälle war die Indikation zur CT gestellt worden. Diese Fälle wurden als „U“ (ungefährlich) klassifiziert. Setzt man die Zahl der angeforderten CT und die Zahl der potentiell gefährlichen Entscheidungen in Relation, dann wird deutlich, dass Auswerterinnen und Auswerter, die oft eine CT-Indikation gestellt haben, eine geringere Zahl von falsch-negativen und gefährlichen Entscheidungen getroffen hätten. So stehen z.B. im direkten Vergleich zweier Auswertungen 69 CT-Indikationen mit drei gefährlichen Entscheidungen 24 CT-Indikationen mit 13 gefährliche Entscheidungen gegenüber. Je mehr CT-Indikationen getroffen werden, umso weniger ist der dosissparende Effekt der Einzelschicht-CT gegeben.

3.4.4 Die Beurteilung der Bildqualität

Bei 1610 Bewertungen der 16 Auswerterinnen und Auswerter (sechsmal wurde keine Bewertung abgegeben) wurde 509 mal die Note 1, 922 mal die Note 2 und 179 mal die Note 3 für die Bildqualität vergeben. Unter den 179 „unbrauchbaren“ Bildern waren 69 mal die Noten 4 oder 5 vergeben worden und zweimal ein missing value (keine Beurteilung durch den Auswerter). Das bedeutet, dass unter den unbrauchbaren Bildern ein deutlich höherer Anteil (38,55 %) falsch befundet war als im gesamten Kollektiv (25,99 %). Tabelle 3.7 fasst die Notenergebnisse in Abhängigkeit von der Bildqualität für alle Untersucher zusammen.

Tabelle 3.7: Noten für die Auswerterinnen und Auswerter in Abhängigkeit von der Bildqualität

Note für 1610 Bewertungen	Bildqualität „1“	Bildqualität „2“	Bildqualität „3“
1	243	453	62
2	95	132	18
3	60	100	30
4	42	97	15
5	69	139	51
Summe	509	922	179

Die Abbildung 3.7 gibt den Zusammenhang zwischen Bildqualität und Noten graphisch wieder. Bei einer schlechten Bildqualität wurden auch mehr schlechte Noten erreicht als bei einer guten Bildqualität, was aber nichts über einen kausalen Zusammenhang zwischen Bildqualität und Befundung aussagt.

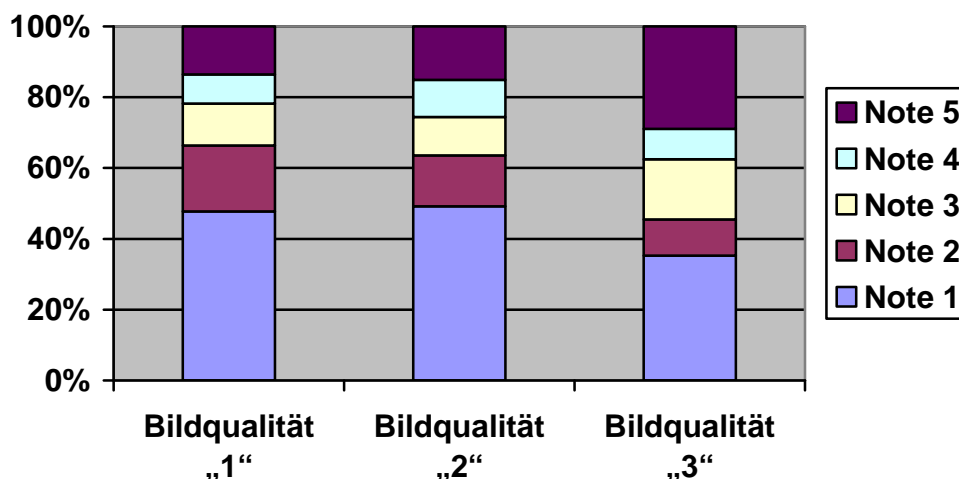


Abbildung 3.7: Grad der Bildqualität und Note der Auswertung (von 1606 Einzelauswertungen)

Die Beurteilung der Bildqualität war unterschiedlich. Die Spannweite lag für die Note 1 (beste Bildqualität) von 3 bis 84 von 101 Untersuchungen, der Mittelwert war 32, die Standardabweichung war 24; für die Note 2 war die Spannweite 16 bis 96, Mittelwert 58, Standardabweichung 22 und die Note 3 wurde von den 16 Auswerterinnen und Auswertern von 1 bis 37 von 101 Untersuchungen vergeben, Mittelwert 11, Standardabweichung 11. Also wurden die Untersuchungen recht unterschiedlich beurteilt, die Noten 1 und 2 waren im Mittel bei 89 % der Untersuchungen, die Note 3 (nicht ausreichende Qualität) wurde im Mittel bei 11 % der Untersuchungen angenommen, ein relativ hoher Wert, der durch die niedrige Dosis bei der Durchführung der Schädel-CT bei Kindern in der Abteilung Kinderradiologie erklärt werden kann. Es wird in der Regel die niedrigstmögliche Dosis eingesetzt, die gerade noch eine Beurteilung der Bilder erlaubt.

3.4.5 Diagnostische Fehler in Abhängigkeit von der Diagnose

Für die beiden häufigsten Diagnosen Blutung und Hydrozephalus sind in der Tabelle 3.8 die Ergebnisse der Auswerterinnen und Auswerter in gleicher Weise wie in Tabelle 3.4 angegeben. Aus den beiden genannten Tabellen wird deutlich, dass die Fehldiagnosen bei den Schädel-CT-Untersuchungen mit pathologischen Befunden deutlich häufiger waren als bei den nicht pathologischen Befunden.

Tabelle 3.8: Häufigkeiten der richtigen Diagnosen (Note 1 – 3) in Bezug auf die Akuität der Erkrankung

Durchschnitte der 16 AuswerterInnen	Zahl der Fälle	Median (%)	Mittelwert (%)	Spannweite (%)
Hydrozephalus	20	60,00	61,25	45,00 - 80,00
Intrakranielle Blutung	9	66,67	63,89	44,44 - 88,89

Die richtige Diagnose in Bezug auf die Akuität der Erkrankung lag bei den beiden typischen und am häufigsten vertretenen Diagnosen (Hydrozephalus und Blutung) bei 60 bis 70 % und damit deutlich niedriger als bei den Normalbefunden. Komplett richtige Diagnosen (Note 1) wurden im Mittel bei 21,56 % der Hydrozephalus-Patienten und bei 22,22 % der Blutungs-Patienten gestellt, im Gegensatz dazu bekamen bei den Normalbefunden 72,36 % der Befunde die Note 1.

3.4.6 Diagnostische Performance bei den Normalbefunden

Die Ergebnisse der Auswertungen bei Normalbefunden finden sich in Tabelle 9.2 im Anhang. Die unauffälligen Schädel-CT wurden in einem wechselnd hohen Maß richtig befundet. Die Ergebnisse für die Richtigkeit der Beurteilung der Akuität (Tabelle 9.2, letzte Zeile, Noten 1-3) liegen im Median bei 88, im Durchschnitt bei 83 % (36 - 100 %). Also wurden von den Auswertern bei durchschnittlich 83 % der Normalbefunde die Akuität richtig beurteilt. Die richtige Diagnose Normalbefund wurde bei den Auswerterinnen und Auswertern im Median bei 79 %, im Mittel bei 73 %, mit einer Spannweite von 28 bis 94 % vergeben. Eine falsch-positive Diagnose (im Sinne einer falsch diagnostizierten akuten neurologischen Erkrankung) wurde im Median bei 12 %, im Mittel bei 16 % (Spannweite 0 bis 64 %) der Auswertungen gestellt. Allerdings hatten auch zahlreiche Auswerter trotz der richtig gestellten Diagnose Normalbefund nicht den Mut, auf eine CT zu verzichten, also wurden im Median bei 30 % (Mittelwert 33, Spannweite 6 bis 62 %) der Auswertungen CT-Untersuchungen verlangt. Tabelle 3.9 fasst die Ergebnisse der Mittelwertbestimmungen für Patientinnen und Patienten mit Normalbefunden und für die akut pathologischen sowie die pathologischen, aber nicht akut erkrankten zusammen.

Tabelle 3.9: Ergebnisse der Auswertungen: Note 1 – 3 (richtige Akuität) zusammen

Durchschnitte der 16 AuswerterInnen	Zahl der Untersuchungen	Median (%)	Mittelwert (%)	Spannweite (%)
Normalbefunde	50	88,00	82,88	36,00 - 100,00
Akut pathologische	31	54,84	57,86	38,17 - 87,10
Nicht akut pathologische	20	80,00	76,56	50,00 - 100,00

3.4.7 Unterschiede der Beurteilung unter Berücksichtigung des Ausbildungsstandes der Auswerterin oder des Auswerter

Die Qualifikation der Untersucher hat keinen positiven Einfluss auf das Ergebnis der Auswertung. Abbildung 3.8 gibt die Häufigkeit der Noten für die Auswerterinnen und Auswerter wieder. Tabelle 3.10 gibt eine Übersicht über die „Güte“ der Befundung (in

welchem Prozentsatz der Fälle die Auswerterinnen und Auswerter unterschiedlicher Ausbildungsstandards die Note 1 - 3 erreicht haben).

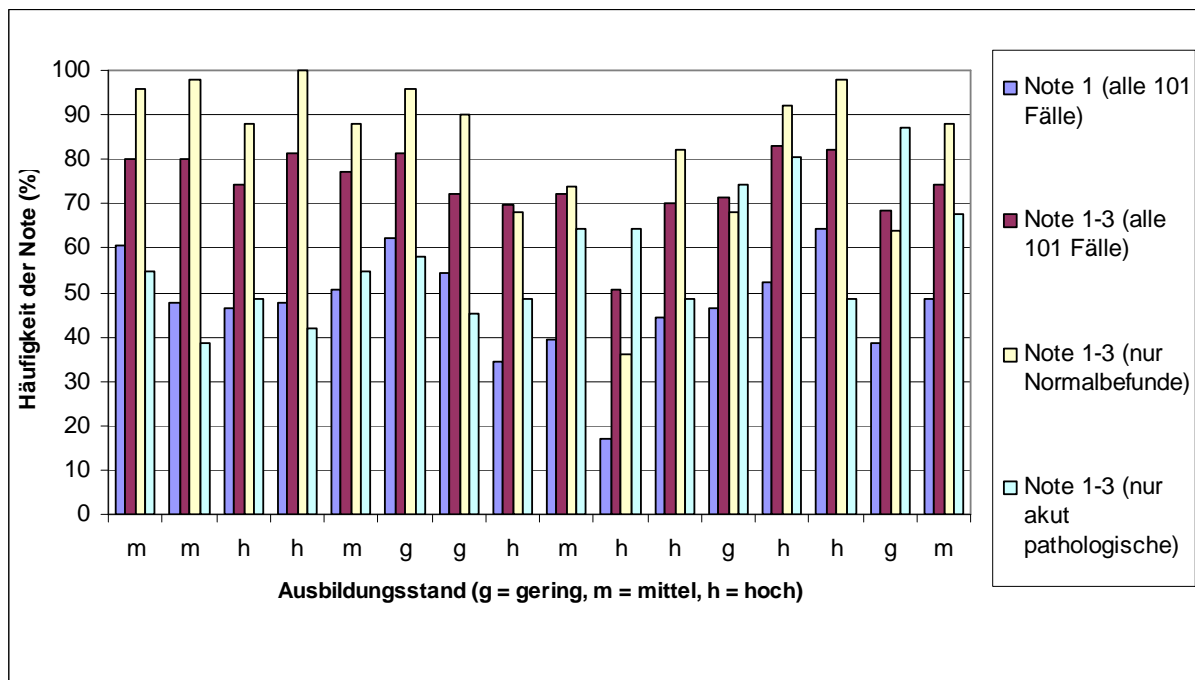


Abbildung 3.8: Häufigkeit der Noten der Auswerterinnen und Auswerter und Ausbildungsstand

Gerade die Untersucher mit langer Erfahrung in pädiatrisch-radiologischer Schädelbildgebung haben tendenziell eher weniger richtige Diagnosen gestellt als die weniger erfahrenen Untersucher. Ein auffallend gutes Ergebnis ist durch den hohen Anteil an richtigen Befunden (Noten 1-3) bei den Auswerterinnen und Auswertern mit mittlerer Qualifikation gegeben. In der Analyse der Einzelergebnisse fällt auf, dass die Auswerter mit hoher Qualifikation besonders bei den Normalbefunden viele pathologische Bewertungen abgegeben haben, trotzdem aber unter den akut pathologischen Befunden viele in der Akuität nicht richtig eingeschätzt haben. Tabelle 3.10 gibt die Frequenz der Noten 1 – 3 der Auswerterinnen und Auswerter geordnet nach dem Ausbildungsgrad wieder, Tabelle 3.11 gibt für die drei Stufen der Qualifikation die Anzahl der falsch-positiven und der falsch-negativen Diagnosen (Kategorie „f“ bzw. „c“ der Auswertung) wieder. Dabei erfolgt die Angabe wiederum in %, bezogen auf die gesamten Fälle in der Kategorie (z.B. alle Fälle, also 101, oder nur Normalbefunde, also 50, oder nur akut pathologische Fälle, also 31).

Bei den richtig-positiven Ergebnissen der besonders erfahrenen Auswerterinnen und Auswerter (also bei der Erkennung von akut pathologischen Fällen) liegen diese (Nr. 9, 10 und 12) mit jeweils 48,4 bzw. 64,5 und 64,5 % im mittleren Bereich (Durchschnitt aller Auswerterinnen und Auswerter 57,9 %, Spannweite 37,5 bis 84,4 %). Der Auswerter, der die

meisten akut pathologischen Fälle detektierte (87,1 %) hatte bei den Normalbefunden eine mäßige Fehlerquote (64,0 %). Dieses Ergebnis überrascht nicht, wenn man annimmt, dass ein „vorsichtiger“ Untersucher mehr falsch-positive Resultate in Kauf nimmt, dafür aber weniger Erkrankte übersieht.

Insbesondere sind einige der als sehr erfahren eingestuften Auswerter durch eine geringe Anzahl von „richtigen“ Bewertungen bei der Beurteilung der Normalbefunde aufgefallen (Auswerter 9: 66,7 %, 10: 72,6 und 12: 35,3 %, bei einem Gesamtdurchschnitt von 83,4 %). Diese Beobachtung ist darauf zurückzuführen, dass alle drei Untersucher häufig die Diagnose Hirnödeme gestellt hatten (in 12, 15 und 50 % der Untersuchungen). Die Diagnose Hirnödeme wurde von allen Auswerterinnen und Auswertern in der Frequenz zwischen 0 und 50 mal gestellt, im Durchschnitt aller 16 Auswerterinnen und Auswertern 11,5 mal. Diese Häufung der Diagnose Hirnödeme erklärt sich dadurch, dass vor allem bei Normalbefunden (im Falle des Auswerter 12 sogar 31 mal) ein Hirnödem gesehen wurde.

Tabelle 3.10: Frequenz der Noten 1 - 3 bei den Auswerterinnen und Auswertern geordnet nach dem Ausbildungsstand

In %	Alle Fälle	Alle Normalbefunde	Alle akut pathologischen Fälle
Geringe Qualifikation (4 AuswerterInnen)	77,97	89,50	58,06
Mittlere Qualifikation (5 AuswerterInnen)	77,03	86,80	62,58
Hohe Qualifikation (7 AuswerterInnen)	70,42	76,29	54,38

Tabelle 3.11: Frequenz „Fehldiagnosen (falsch-positive und falsch-negative)“ nach dem Ausbildungsstand

In %	Alle Fälle, falsch-positive	Alle Fälle, falsch-negative	Normale Fälle, falsch-positive	Akut pathologische, falsch-negative
Geringe Qualifikation (4 AuswerterInnen)	9,16	13,12	10,50	42,74
Mittlere Qualifikation (5 AuswerterInnen)	11,49	11,49	13,20	36,13
Hohe Qualifikation (7 AuswerterInnen)	15,70	13,72	22,29	44,70

Die Korrelationen der Ergebnisse der ROC-Analyse und der Noten, die für die von den Auswerterinnen und Auswertern gestellten Diagnosen und Einschätzungen der Akuität gegeben wurden, ist in den Abbildungen 3.9 bis 3.11 dargestellt. Es besteht nur eine sehr lose Korrelation zwischen der Fläche unter der Kurve und der Zahl der „guten“ Noten für die

Bewertung der Diagnosen. In den genannten Diagrammen sind alle Noten für alle Bewertungen berücksichtigt worden, also nicht aufgeschlüsselt nach Normalbefunden oder pathologischen Befunden.

Die Punktwolke in den drei Diagrammen ist bis auf einen Ausreißerwert eng: Auswerter 12 hatte eine hohe Zahl an falsch-positiven Befunden erzeugt und damit eine geringere Zahl an Bewertungen der Kategorie 1 bis 3 und eine hohe Anzahl an Bewertungen der Kategorie 5.

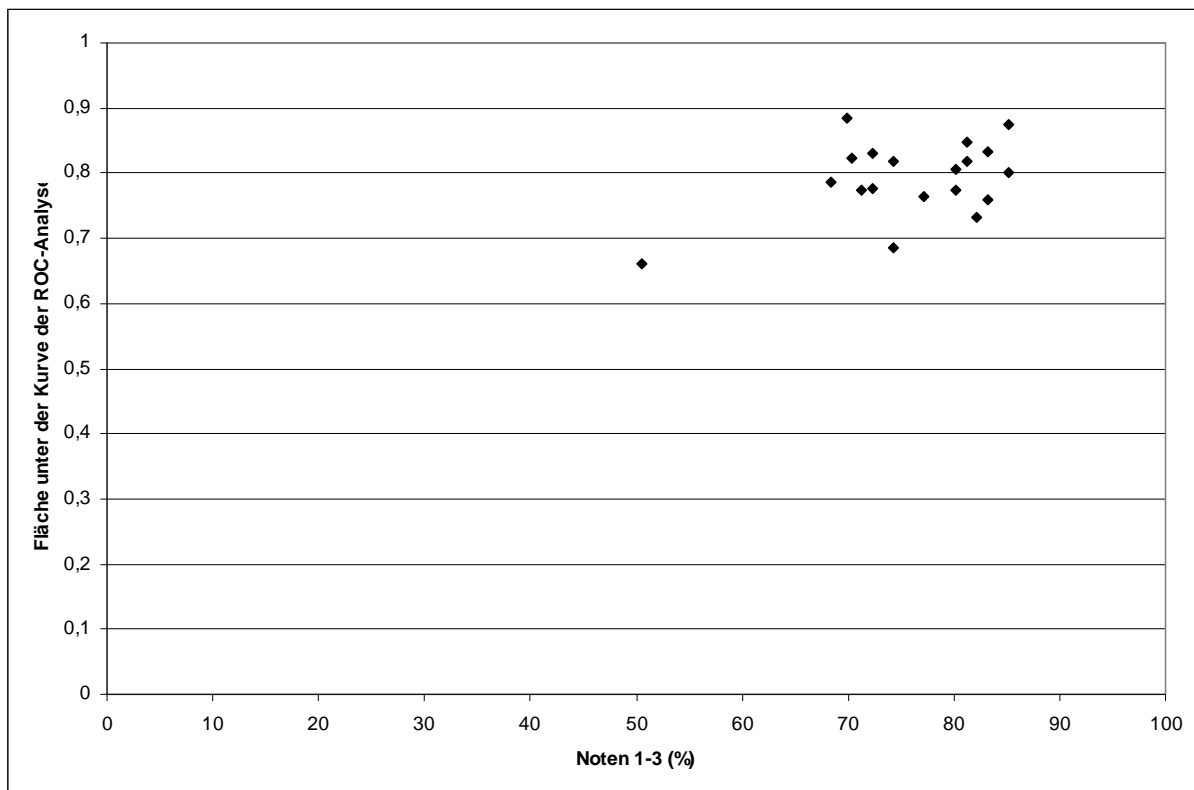


Abbildung 3.9: Korrelation der Qualität der Noten in der deskriptiven Analyse der Daten und der Fläche unter der Kurve in der ROC-Analyse. Abszisse (X-Achse): Summe der Noten 1 – 3 in % der gesamten Noten für die 16 Auswerterinnen und Auswerter; Ordinate (Y-Achse): Fläche unter der Kurve in der ROC-Analyse

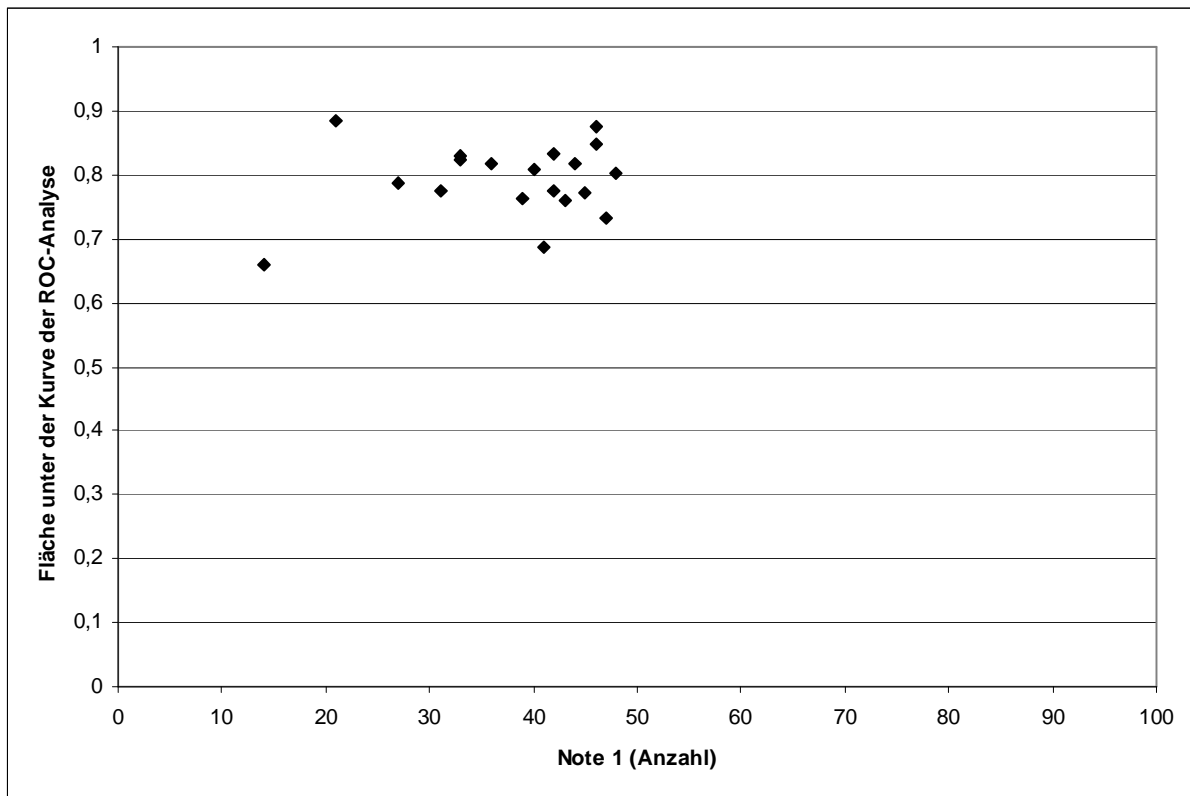


Abbildung 3.10: Korrelation der Qualität der Noten in der deskriptiven Analyse der Daten und der Fläche unter der Kurve in der ROC-Analyse. Abszisse (X-Achse): Note 1 (absolute Anzahl) für die 16 Auswerterinnen und Auswerter; Ordinate (Y-Achse): Fläche unter der Kurve in der ROC-Analyse

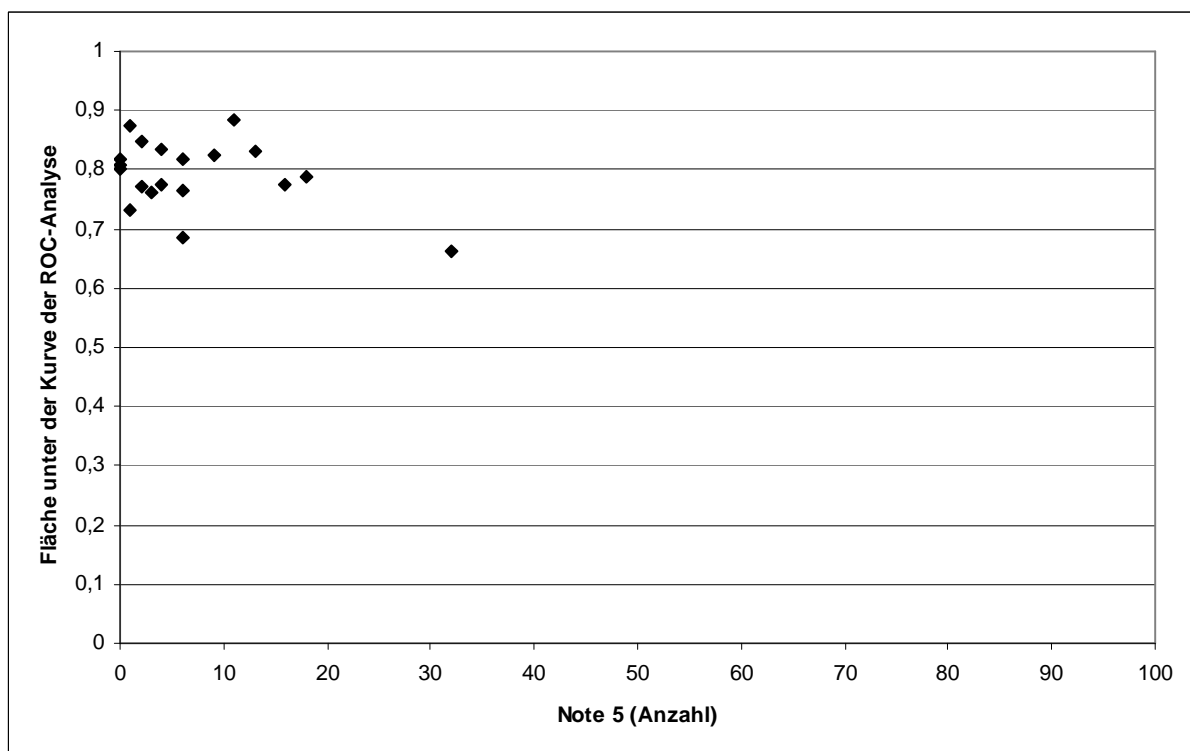


Abbildung 3.11: Korrelation der Qualität der Noten in der deskriptiven Analyse der Daten und der Fläche unter der Kurve in der ROC-Analyse. Abszisse (X-Achse): Note 5 (absolute Anzahl) für die 16 Auswerterinnen und Auswerter; Ordinate (Y-Achse): Fläche unter der Kurve in der ROC-Analyse

3.4.8 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

In den drei Durchgängen, die im Monatsabstand von einem Untersucher durchgeführt wurden, waren 303 Einzelbeobachtungen durchgeführt worden. In drei Fällen waren die Noten der drei Auswertungen unterschiedlich, in 25 Fällen war die Note nicht in allen Durchgängen die gleiche, in 76 Fällen waren die Noten gleich.

Es kam achtmal vor, dass bei ein und demselben Fall in den drei Auswertungen sowohl eine der Noten 1 bis 3 (also richtige Akuität, richtige oder falsche Diagnose) als auch die Noten 4 oder 5 (falsche Akuität, richtige oder falsche Diagnose) auftraten.

Weniger Übereinstimmung ergab sich für die Indikation zur CT, die in 33 Fällen nicht in allen drei Durchgängen in gleicher Weise gestellt wurde. Die Qualität der Aufnahmen wurde recht einheitlich beurteilt, in zwei Fällen wurde in den drei Durchgängen eine unterschiedliche Note vergeben, in 46 Fällen differierten die Noten geringfügig (z.B. zweimal 1 und einmal 2 oder umgekehrt), in 55 Fällen wurde dreimal die gleiche Note vergeben.

Insgesamt sind also die einzelnen Fälle bis auf die Indikationsstellung der CT oder MRT recht einheitlich. Bei 101 Fällen war in acht (8 %) der Untersuchungen eine „gegenteilige“ Aussage (die Akuität betreffend) beobachtet worden.

4 Diskussion

4.1 Methode, Sensitivität, Spezifität und Richtigkeit der Diagnosen

Von den 101 Untersuchungen wurden im Mittel der 16 Auswerterinnen und Auswerter 11 % hinsichtlich der Bildqualität als nicht ausreichend angesehen. Das liegt an der niedrigen Dosis sowie an den bei einigen unruhigen Patienten zu beobachtenden Bewegungsartefakten. Die Dosis bei der Schädel-CT wird bewusst so niedrig wie möglich gewählt, um gerade noch eine Aussage hinsichtlich der Fragestellung treffen zu können. Offensichtlich führt dieses Konzept – zumindest bei der Einzelschicht-CT – dazu, dass ein nicht unerheblicher Teil der Untersuchungen von den Auswerterinnen und Auswertern als nicht mehr ausreichend gut beurteilt wird. Ein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen der Bildqualität und der Beurteilung durch die Auswerterinnen und Auswerter (also der „Note“ für die Untersuchung) war nicht erkennbar (Abbildung 3.7).

Die Reproduzierbarkeit dieser Methode ist schwierig zu prüfen, da ein Untersucher sich immer an einige Fälle erinnern kann. Dennoch ist es bei 101 Fällen fast unmöglich, sich alle getroffenen Entscheidungen über Wochen zu merken, sodass lediglich ein Eindruck im Gedächtnis bleibt, wie viele Fälle pathologisch und wie viele normal waren. Vor diesem Hintergrund ist die Reproduzierbarkeit der Untersuchung recht gut, in der Dreifachbestimmung sind in nur 8 % der Fälle gegenteilige Diagnosen im Hinblick auf die Akuität der Erkrankung gestellt worden. Die Übereinstimmung in der Entscheidung, ob eine CT oder MRT durchgeführt werden sollte, ist allerdings mit etwa zwei Dritteln der Fälle, in denen eine gleiche Entscheidung wiederholt getroffen wurde, erwartungsgemäß nicht so hoch. Für diese Entscheidung gibt es, und das ist offensichtlich auch ein Ergebnis dieser Untersuchung, weder im Vergleich zwischen den Auswerterinnen und Auswertern noch bei einem einzelnen Auswerter einheitliche Entscheidungen, so dass in sehr unterschiedlichem Ausmaß die CT-Indikation gestellt wurde. In etwa 46 % der Fälle wurde eine sofortige CT für erforderlich gehalten. Die Spannweite zwischen den Auswerterinnen und Auswertern liegt zwischen 24 und 69 % und ist damit recht groß. Auch das ist ein Indiz dafür, dass die Entscheidung sehr subjektiv ist, zumindest, wenn der Arzt, der die Entscheidung treffen soll, den Patienten klinisch nicht kennt, sondern nur nach Aktenlage und nach einem Bild entscheidet.

Bei der ROC-Analyse kann der Auswerter/die Auswerterin seine/ihre Unsicherheit durch die Aussage zur Sicherheit der Diagnose „3 (weiß nicht)“ ausdrücken, bei der Entscheidung über eine klinische Diagnose wurden sie dazu gezwungen, eine Aussage zu treffen, auch wenn diese nicht richtig ist. Durch die ROC-Analyse wurden die Entscheidungen (pathologisch oder nicht pathologisch im Sinne der Fragestellung) der Auswerterinnen und Auswerter zusammen mit dem Grad der Unsicherheit in ihrer Richtigkeit und in der Sensitivität und Spezifität quantitativ erfasst. Ein Vergleich der Richtigkeit der Diagnostik zwischen den einzelnen Auswerterinnen und Auswertern wird dadurch möglich. Die Fülle an Informationen aus einer CT geht aber weit über die Diagnose „krank/gesund“ hinaus. Eine solche Alternative wäre z.B. bei der Analyse der diagnostischen Performance einer Methode zur Bildgebung von Malignomen denkbar (z.B. „Rezidiv/kein Rezidiv“). Die beiden unterschiedlichen Analysen dieser Arbeit, die ROC-Analyse (pathologisch/nicht pathologisch) und die Analyse der Diagnosen, überschneiden sich, sind aber unterschiedlich hinsichtlich der Konsequenz, ob der Patient schließlich „richtig“ behandelt worden wäre.

Denn die Analyse der Diagnosen der Einzelschicht-CT und die Entscheidung zu weiterer Bildgebung geht über die Aussage, ob pathologische oder nicht pathologische Zustände

richtig erkannt wurden, hinaus und zeigt das Risiko auf, eine kritische Situation zu übersehen.

4.2 Ergebnisse und Abhängigkeit vom Erfahrungsgrad des Auswerterers

Ein Einfluss des Ausbildungsgrades auf die Area under curve in der ROC-Analyse ist kaum zu erkennen, die erfahrenen Untersucher sind tendenziell „schlechter“ in ihrem Urteil als die mittelgradig erfahrenen, die wenig erfahrenen haben im Mittel die geringsten Werte für die Area under curve. Also ist die Entscheidung über pathologisch/nicht pathologisch nicht von der Qualifikation des Untersuchers abhängig. Auch für die deskriptive Datenanalyse gilt: Große Erfahrung schützt bei der Beurteilung der Einzelschicht-CT nicht vor einer Fehleinschätzung der Situation. Im arithmetischen Mittel aller Fälle und aller Auswerterinnen und Auswerter beträgt die Rate der kritischen Diagnosen 13,0 %, die der falsch-positiven 12,9 %, die der gefährlichen Fehlentscheidungen 8,5 % und die der ungefährlichen 4,5 % (falsche Einschätzung der Situation, aber trotzdem Entscheidung für eine gesamte CT).

Die Zahl der falsch-positiven Ergebnisse dreier sehr erfahrener Auswerterinnen und Auswerter ist durch die häufige Diagnose eines Hirnödems erklärt (siehe Abschnitt 3.4.7). Die Diagnose eines Hirnödems wird nicht anhand eines einzelnen Scans gestellt, sondern umfasst die Beurteilung der gesamten Untersuchung, da insbesondere die Weite der äußeren Liquorräume in Relation zum Ventrikelsystem beurteilt wird (Petersen und Voigt 1987). Auch die Weite der Zisternen ist eine kritische Größe für das Urteil Hirnödem. Diese Abschnitte des Schädelinneren waren nicht mit abgebildet. Aus der scheinbaren „Dichte“ der grauen Substanz alleine und der Weite der Ventrikel ist offensichtlich keine Diagnose eines Hirnödems möglich.

Bei der Diagnosestellung des Goldstandards wurde als Hirnödem nur eine Läsion verstanden, die zu einer höhergradigen Einengung der gesamten (also inneren und äußeren) Liquorräume geführt hat. Solche Patientinnen und Patienten waren nicht im Kollektiv der Untersuchten. Insbesondere auch keine so hochgradigen Hirnödemstadien, die zu einer Veränderung der Dichtewerte der Hirnsubstanz geführt hatten. Die wenigen eventuell betroffenen Patienten, die nach der Anamnese und den klinischen und bildgebenden Befunden ein Ödem hätten haben können, hatten nach den Kriterien der CT-Diagnostik keine sicheren Ödemzeichen. Allerdings ist die Diagnose einer leichten Hirnschwellung, wie sie bei einer Insolation oder einem Zustand nach einem Krampfanfall auftreten kann, sicherlich schwierig zu stellen, insbesondere, wenn keine Verlaufsuntersuchungen oder MRT-Untersuchungen verfügbar sind. Unter diesem Aspekt ist sicherlich die

Verdachtsdiagnose einiger Auswerter zu verstehen. Die in Abbildung 4.1 sichtbare Dichteminderung frontal ist generell bei der überwiegenden Zahl der Auswerterinnen und Auswerter als normal befundet worden, einzelne Auswerter haben diesen Befund offensichtlich als lokale Schwellung verstanden.

Außerdem haben einige Auswerterinnen und Auswerter die Diagnose Hirnödem als perifokales Ödem verstanden: Insbesondere bei Patientinnen und Patienten mit Blutungen gehört dieser Befund aber zur Hauptdiagnose und wurde nicht im Goldstandard als solches gewertet.

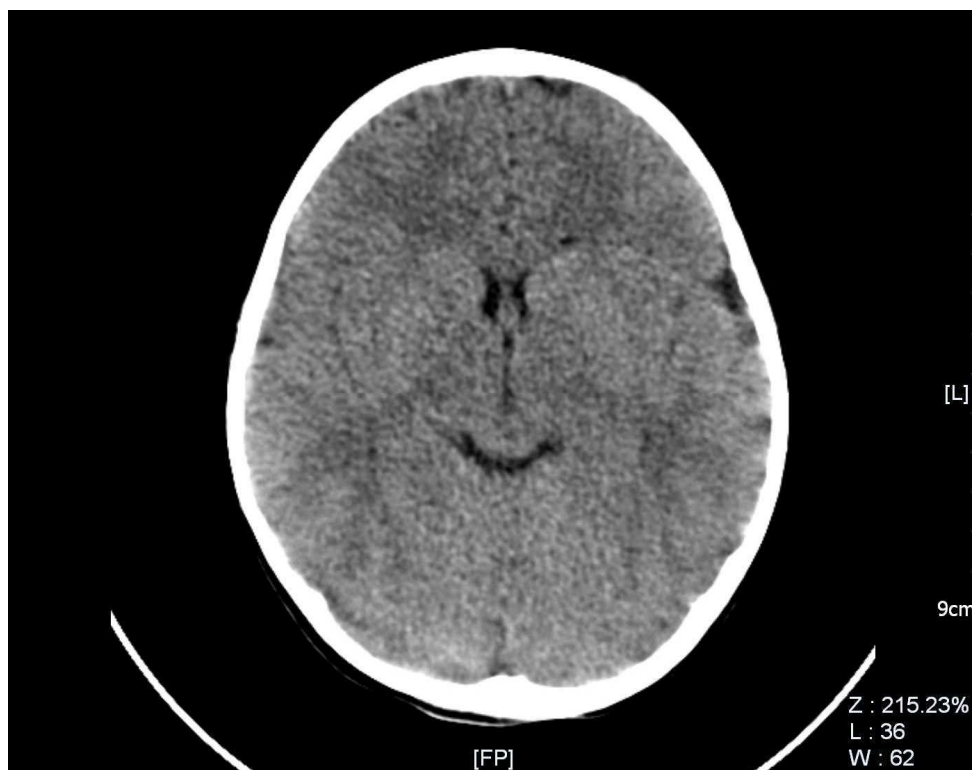


Abbildung 4.1: Dieser Scan wurde von mehreren Auswertern mit der Diagnose Hirnödem befundet. Die Fragestellung lautete „Verdacht auf Hirnödem“. Bei der Beurteilung des gesamten Scans und der klinischen Daten und Verlaufsuntersuchung wurde die Diagnose Normalbefund als Goldstandard bestimmt.

4.3 Fehldiagnosen – wie sind sie zu verstehen?

Der Begriff Fehldiagnose ist in dieser Arbeit überwiegend auf die Fehleinschätzung der Akuität der Situation eingengt worden. Eine falsche Diagnose ohne Fehleinschätzung der Bedrohlichkeit wäre ja durch die anschließende CT oder die MRT am nächsten Tag korrigiert worden. Wie sicher die Diagnose durch die komplette CT-Untersuchung geworden wäre, war nicht Gegenstand dieser Studie. Es ist jedoch anzunehmen, dass auch die Erstbefundung

der CT nicht in 100 % der Fälle richtig war. Denn der Goldstandard dieser Studie ist in der kritischen Würdigung aller vorliegenden Befunde (einschließlich eventueller später durchgeführten Kontrolluntersuchungen) und des Verlaufs der Erkrankung (z.B. Operationen) aufgestellt worden. Auch hier könnte man diskutieren, wie sicher die Diagnose des Goldstandards ist, ob z.B. eine durchgeführte Shunt-Revision wirklich erforderlich war.

Die Zahl der G-Patienten (Patienten, bei denen eine kritische Situation nicht erkannt und keine komplette CT-Untersuchung gewünscht wurde) ist recht hoch, aber das Szenario ist so, dass der Patient oder die Patientin nicht nach Hause geschickt wurde, sondern eine stationäre Überwachung erfolgen sollte, sodass dadurch möglicherweise eine Gefährdung auszuschließen ist. Lediglich ist es denkbar, dass eine Diagnose zu spät gestellt worden wäre. Außerdem wurde in dem Szenario, dass in dieser Arbeit entworfen wurde, die Akuität oftmals drastisch überbewertet, um nicht den einen Patienten, der wirklich gefährdet worden wäre, zu übersehen. So ist z.B. beim jedem Vorliegen einer Blutung im Schädelinneren in dieser Untersuchung immer die Akuität als „r“ (also raumfordernd oder bedrohlich) angenommen worden, obwohl natürlich nicht jede intrakranielle Blutung (z.B. ein schmales epidurales Hämatom) überhaupt zu einer klinischen Symptomatik, die über Kopfschmerzen hinausgeht, führen muss, geschweige denn zum Tod. Schließlich sind von den 101 beobachteten Patientinnen und Patienten drei zu Tode gekommen, sie sind aber nicht an den Folgen der Schädelproblematik verstorben.

In den Diskussionen mit den Auswerterinnen und Auswertern wurde immer wieder die Frage gestellt, wie die klinische Situation des Patienten war. In vielen Fällen wurde die Indikation zur Schädel-CT angezweifelt. Die Ausgangssituation für diese Studie war es, dass bereits eine Indikation durch einen zuweisenden Kinderarzt, in aller Regel Oberarzt, gestellt war. Die Untersuchung war dann auch durchgeführt worden. Die rechtfertigende Indikation wurde in allen Fällen durch in Kinderradiologie erfahrene Radiologen gestellt. Die klinische Situation beispielsweise bei dem Verdacht auf eine Dekompensation eines Hydrozephalus muss demnach für eine ausreichende Verdachtsdiagnose typisch gewesen sein.

Zur Veranschaulichung der diagnostischen Schwierigkeiten einer Einzelschicht-CT sollen drei Beispiele dienen. Abbildung 4.2 gibt einen typischen akutpathologischen Fall wieder. Links ein Topogramm, das den ventrikuloperitonealen Shunt zeigt, dann (Mitte) der Scan in Höhe der Foramina Monroi im Knochen- und rechts im Hirnfenster. Dieser Patient hatte einen dekompensierten Hydrozephalus. Der Zustand wurde von vielen Auswertern richtig erkannt, einer hatte nicht die Diagnose einer Dekompensation gestellt und ein Auswerter auch nicht die Diagnose eines Hydrozephalus. Wahrscheinlich wurde der Shunt übersehen.

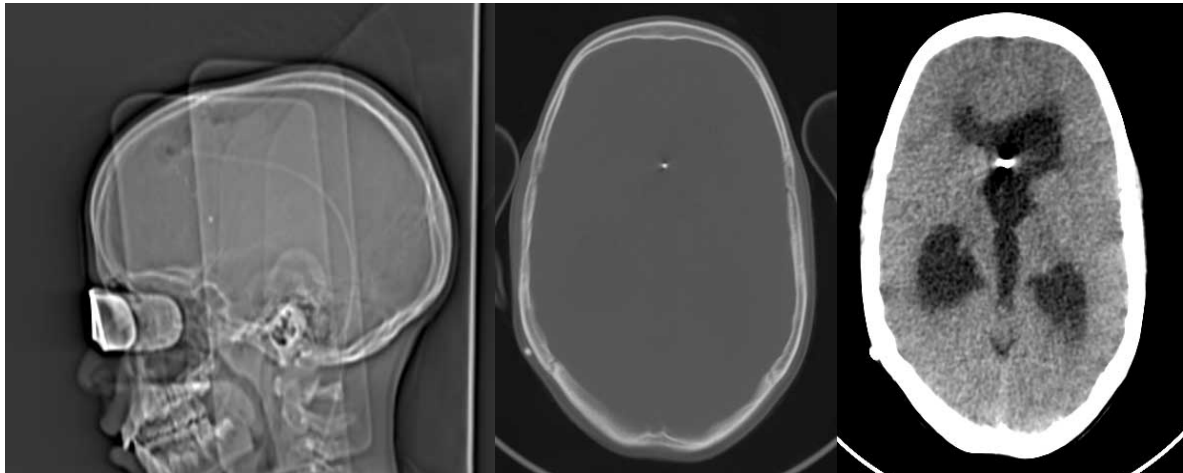


Abbildung 4.2: Beispiel eines dekompensierten Hydrocephalus

Der Patient in Abbildung 4.3 hatte mit 6 Jahren eine Herztransplantation und in der Folge unter der Operation Infarkte, die gut in diesem Scan zu diagnostizieren waren.

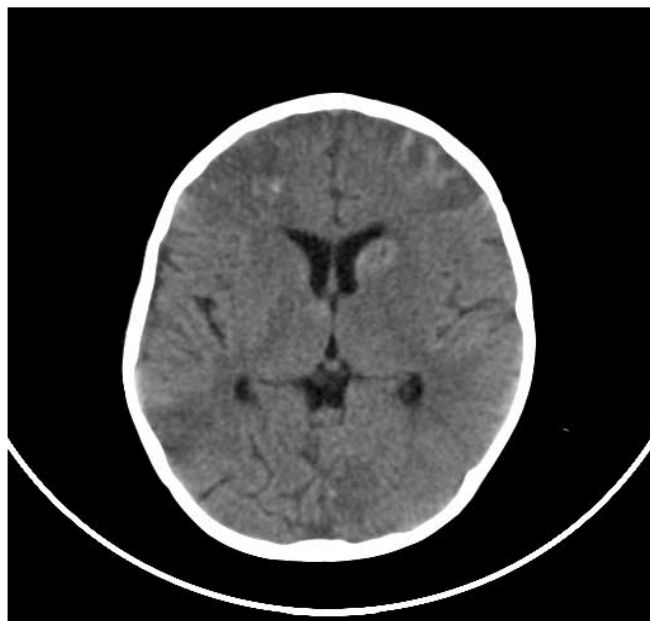


Abbildung 4.3: multiple Infarkte

Der Patient in Abbildung 4.4 hat einen Media-Insult nach einer Herzoperation. Das Bild in Höhe der Foramina Monroi (links) zeigt die Dichteminderung der linken Hemisphäre als diskreten Befund, der leicht übersehen werden kann. Er wurde nur von einem Auswerter richtig befundet.

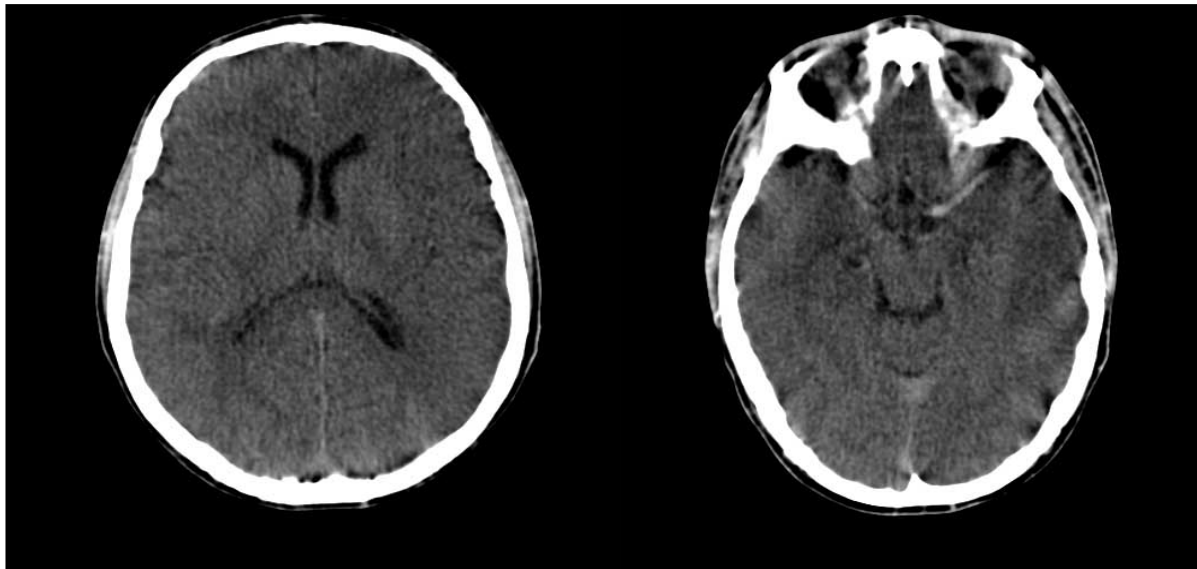


Abbildung 4.4: Frischer Mediainfarkt. Media-Insult (links), Dense-media-Zeichen (rechts)

Der Schnitt in Höhe des Circulus arteriosus (rechts) zeigt das Problem: Dense-media-Zeichen als Folge des embolischen Gefäßverschlusses. Bei der kompletten CT wäre dieser Befund einem erfahrenen Untersucher nicht entgangen.

4.4 Limitationen der Untersuchung

In dieser Arbeit wurde bewusst einer der wichtigsten Aspekte der klinischen Radiologie ausgeklammert: die Möglichkeit, den Patienten in seiner gesamten klinischen Situation zu beurteilen. Viele der Auswerterinnen und Auswerter hätten sich einen Blick auf den Patienten gewünscht, um die Entscheidung zu treffen, die von ihnen verlangt wurde. Inwieweit eine klinische Beurteilung des Patienten das Ergebnis der Studie verändern würde, könnte allerdings nur prospektiv erhoben werden. Dazu hätte der Patient bzw. die Patientin vor der Untersuchung evaluiert werden müssen. Im Folgenden wäre die Durchführung einer Einzelschicht-CT erforderlich gewesen, um dann eine Diagnose zu stellen und anschließend die gesamte Untersuchung durchzuführen. Ohne eine solche Studie ist eigentlich keine abschließende Bewertung der Methode einer Einzelschicht-CT möglich.

Die Auswerterinnen und Auswerter bemängelten auch die sparsamen Angaben zur Anamnese. Es wurden allerdings nur die oft sehr knappen anamnestischen Angaben aus der Originalanforderung übernommen.

Bei ausgewählten Fragestellungen, die das Ventrikelsystem betreffen, wie z.B. Hydrozephalus, wäre in Zusammenschau mit Voruntersuchungen eine Verbesserung der Diagnosesicherheit der Einzelschicht-CT denkbar. Das wurde von den Auswerterinnen und Auswertern kritisch angemerkt. Gerade diese Patienten haben wiederholte CT, sodass die Reduktion der Strahlenexposition hier besonders wünschenswert wäre.

Natürlich wären auch die kritischen Fälle aus dieser vorliegenden Untersuchung nicht unbedingt zu Schaden gekommen, wenn die Einzelschicht-CT als diagnostisches Verfahren durchgeführt worden wäre. Die Überwachung des Patienten bzw. der Patientin und die spätestens am Folgetag durchgeführte MRT hätten durchaus ausreichen können, um das Kind oder den/die Jugendliche/n ausreichend diagnostisch zu versorgen, vielleicht wäre eine Diagnose (z.B. Dekompensation eines Hydrozephalus) nur etwas später gestellt worden, ohne schädliche Konsequenzen.

4.5 Schlussfolgerung

Die Einschränkung des Untersuchungsvolumens hat nach den hier vorgelegten Ergebnissen eine erhebliche Konsequenz für die Beurteilungsqualität. So sind die Ergebnisse dieser Untersuchung (13 % kritische Fehler durch die Einzelschicht-CT) in diesem Zusammenhang zwar scheinbar dramatisch, aber die Einzelschicht-CT kann ja auch als Alternative zu „überhaupt keine CT“ verstanden werden, da die Strahlenexposition einer Einzelschicht-CT mit – je nach Schätzung – zwischen dem 1,5- und 5,5- fachen einer Thoraxaufnahme doch erfreulich niedrig ist.

Aus medicolegalen Gründen dürfte diese Vorgehensweise zumindest derzeit nicht anzuraten sein. Viele Kollegen werden in einem Streitfall argumentieren, dass wenn eine Untersuchung durchgeführt wird, sie dann lege artis ausgeführt werden sollte. Eine Untersuchung kann zwar nach dem ALARA-Prinzip durchgeführt werden, d.h. also mit niedriger Strahlendosis, aber die Vollständigkeit der abgebildeten Strukturen – das ganze Hirnparenchym – wird als ein unabdingbares Qualitätskriterium angesehen (Leitlinien für die CT-Diagnostik, Bundesärztekammer 2008). Gleichwohl werden in der Thoraxdiagnostik bei der HRCT (high resolution CT) der Lunge durchaus Einzelscans durchgeführt, meistens allerdings in Kombination mit einer vollständigen Abbildung der Lunge durch eine Spiral-CT. Die HR-Schicht ist in diesem Fall eine zusätzliche diagnostische Maßnahme als Ergänzung. Im Kindesalter werden aber durchaus auch HRCT-Untersuchungen der Lunge als Einzelschichten in Ergänzung zu einer Thoraxübersichtsaufnahme durchgeführt, wenn ein interstitieller Prozess, der die gesamte Lunge diffus betrifft, ausgeschlossen werden soll.

Diese Frage ist mit einer Schicht hinreichend zu klären. Bei dem in dieser Arbeit vorgestellten Konzept kann nicht von einer diffusen Verteilung der Erkrankung, die gesucht wird, ausgegangen werden. Allerdings ist eine generalisierte Schädigung des Hirnparenchyms häufig durch die Beteiligung des Ventrikelsystems zu erkennen: Bei einem Hirndruck wird das Ventrikelsystem eng. Lokalisierte Veränderungen in einer Hemisphäre können zu Ödem und zu asymmetrischer Verlagerung der Mittellinie führen. Diese Veränderungen können in der Einzelschicht sicher diagnostiziert werden. Es stellt sich die Frage, ob bei einer relativen Indikation zu einer Schädel-CT nicht eine einzelne Schicht ein diagnostisches Werkzeug werden kann, wenn der Patient anschließend eine ausreichende Überwachung seines Zustandes bekommt. Insbesondere die Patienten, die einen shuntversorgten Hydrozephalus haben, könnten zum Ausschluss der Dekompensation oder einer Überdrainage möglicherweise mit einer Einzelschicht ausreichend diagnostiziert werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung an immerhin 20 Patientinnen und Patienten mit Hydrozephalus lassen jedoch auch an dieser Idee Zweifel aufkommen. Wenn der Einsatz einer Einzelschicht-CT bei der Frage nach einer Dekompensation eines Hydrozephalus diskutiert wird, dann müssen unbedingt alle Voruntersuchungen und alle klinischen Informationen zur Verfügung stehen.

Eine Indikation, die Schädel-CT bei einem Kind mit Einzelschicht-Untersuchung zu beginnen, könnte darin liegen, eine Abschätzung der Dosis zu bekommen, die nach dem ALARA-Prinzip für eine etwaige komplette CT des Schädels erforderlich ist. Wenn der Einzelscan in seiner Qualität nicht ausreicht, wäre eine Adaptation der Dosis durchführbar. Das Konzept einer Einzelschicht-CT ist natürlich nur dann durchführbar, wenn während der Untersuchung ein Radiologe am Gerät anwesend ist, um die Diagnose ad hoc zu treffen oder eine gesamte CT zu indizieren. Idealerweise wäre das in Zusammenarbeit mit einem klinisch tätigen Kollegen, der die Patientin oder den Patienten kennt, möglich.

Eine provozierende Frage, die sich der untersuchende Arzt insbesondere bei der Schädel-CT von Kindern stellen muss, lautet: „Wenn von tausend Kindern eines durch die Untersuchung eine Leukämie bekommt, darf ich diese Methode bei diesem Patienten wirklich einsetzen?“. In dem vorgestellten Szenario wären als Antwort auf diese Frage von den Auswerterinnen und Auswertern einige Schädel-CT-Untersuchungen nicht komplett, also nur eingeschränkt, durchgeführt worden.

Die Frage, ob eine Schädel-CT oder eine etwas verzögerte Diagnose mehr Schaden anrichten kann, bleibt eine theoretische Frage mit unsicherer Datenlage. Es existieren keine Publikationen in der gegenwärtigen radiologischen Literatur, die sich explizit mit dem Thema

Ethik der Strahlenexposition beschäftigen. Ein Umdenken beginnt, auch in den Vereinigten Staaten von Amerika, wo die CT eine höhere Frequenz hat als in Europa, seit es in einigen Arbeiten seit dem Jahr 2000 zu einer Neubewertung des Strahlenrisikos bei Kindern gekommen ist (Vock 2002).

Die Ergebnisse der hier vorgestellten Betrachtung sind allerdings so ernüchternd, dass eine sofortige Anwendung der Methode in der klinischen Routine nicht vorgeschlagen werden darf. Eine weiterführende Untersuchung mit einem prospektiven Ansatz, bei dem die klinisch erforderlichen Informationen sowie Voruntersuchungen dem Auswerter bzw. der Auswerterin zur Verfügung gestellt werden, wäre wünschenswert.

5.1 Zusammenfassung

Fragestellung: Zur Minimierung der Strahlenexposition von CT-Untersuchungen vor allem bei Kindern ist neben der Anpassung der Dosis an das Objekt auch eine Einschränkung des Untersuchungsvolumens denkbar. Diese Untersuchung wurde zur Beantwortung von drei Fragen unternommen:

1. Inwieweit ist es möglich, eine akute neurologische Erkrankung bei einem Kind durch eine eingeschränkt durchgeführte Schädel-CT mit nur einem Tomogramm in Höhe der Foramina Monroi zu diagnostizieren? Mit welcher Sicherheit werden die Diagnosen gestellt?
2. Wie verhalten sich klinisch tätige Ärzte oder Radiologen, wenn sie diese Untersuchung als Grundlage ihrer Entscheidung nehmen sollen?
3. Wie ist die Dosis dieser eingeschränkten Untersuchung zu bewerten?

Material und Methode: Bei 101 Patienten (44 weiblich) im Alter von 0 bis 37 Jahren, Median 7 Jahre, war aufgrund einer vermuteten akuten neurologischen Pathologie eine Schädel-CT durchgeführt worden. Für diese Studie wurde eine Schicht in Höhe des Ventrikelsystems ausgewählt und zusammen mit dem Topogramm dargestellt. Die Scans wurden von einem Kinderradiologen und einer Kinderärztin fachärztlich diagnostiziert und mit allen Angaben aus der elektronischen Patientenakte (Klinikinformationssystem) abgeglichen. 16 Auswerterinnen und Auswerter mit unterschiedlichem Ausbildungsstand (sieben mit hoher, fünf mit mittlerer und vier mit geringer Erfahrung in neuropädiatrischer Notfallradiologie) versuchten anhand der mitgeteilten Anamnese sowie des Topogrammes und des Tomogrammes (in Knochen- und Hirnfenster dargestellt) eine Verdachtsdiagnose zu stellen. Für eine Receiver Operating Characteristics (ROC)-Analyse mussten sie eine Diagnosesicherheit angeben und entscheiden, ob eine sofortige komplette Schädel-CT durchzuführen sei oder ob eine MRT-Untersuchung am Folgetag unter stationärer Beobachtung ausreichend wäre. 50 der Untersuchungen waren Normalbefunde, bei 31 Untersuchten lag eine akut bedrohliche Situation vor, bei 20 Untersuchten war eine nicht bedrohliche, aber pathologische Situation gegeben. Die beiden häufigsten Diagnosen der pathologischen Fälle waren Hydrozephalus (20 Fälle) und intrakranielle Blutung (9 Fälle). 22 weitere Diagnosen wurden gestellt, fünf Fehlbildungen, fünf Frakturen, vier Ischämien, vier Neoplasien, drei Fälle von Atrophie und ein Hygrom. Die ROC-Kurven wurden für die Auswertungen der Sensitivität und Spezifität der Beurteilungen berechnet. Die Fläche unter der Kurve ist ein Maß für die Qualität der Befundung. Eine ideale Befundung müsste eine Fläche von 1 haben, eine reine Zufallsauswertung hätte eine Fläche unter der Kurve von 0,5.

Ergebnisse: Die falsch-positiven Diagnosen wurden den falsch-negativen mit einer bedrohlichen Situation (akute Erkrankung) oder ohne bedrohliche Situation gegenübergestellt. Bei den Normalbefunden waren im Median der 16 Auswerterinnen und Auswerter 18 % Fehldiagnosen (falsch-positiv), bei den akut bedrohlichen 42 % Fehldiagnosen (falsch-negativ, für den Patienten gefährlich), bei den nicht akut bedrohlichen 20 % Fehldiagnosen zu beobachten. Im Durchschnitt der Auswerterinnen und Auswerter wäre bei 13 von 31 akut Erkrankten eine kritische Situation entstanden, wenn sich der Befund nur auf die eine Schicht gestützt hätte, im Durchschnitt wurde bei 44 von 101 Untersuchungen eine komplette CT für erforderlich gehalten. Bei den falsch-negativen Diagnosen der akut bedrohlich erkrankten Personen war bei 27 % nicht die Indikation zur kompletten CT gestellt worden. Bei den Kindern mit der Verdachtsdiagnose der Dekompensation eines Hydrozephalus wurden in 61 %, bei den Kindern mit intrakranieller Blutung wurden in 64 % der Fälle richtige Diagnosen gestellt. Der Ausbildungsstand hatte keinen Einfluss auf die Qualität der Befundung, die besonders erfahrenen Auswerterinnen und Auswerter hatten tendenziell weniger richtige Befunde als die unerfahreneren.

Die Dosis der Einzelschicht-CT errechnet sich aus der Summe der Dosis des Topogrammes und eines Tomogrammes, nach Herstellerangaben 0,081 mGy für ein fünfjähriges Kind und damit im Bereich der Dosis von zwei Thoraxaufnahmen. Eine komplette Schädel-CT hat eine Strahlenexposition von etwa 2-4 mGy oder das Äquivalent von 50 Thoraxaufnahmen.

Die Ergebnisse der ROC-Analyse zeigen für einen sehr guten Auswerter eine Fläche unter der Kurve von 0,885, für eine weniger gute Auswertung 0,661. Für die besonders erfahrenen Auswerterinnen und Auswerter sind die Flächen im Mittel 0,787, für die mittelgradig erfahrenen Auswerterinnen und Auswerter 0,799, für die geringgradig erfahrenen 0,778. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Auswertergruppen sind also in dieser Darstellungsweise nicht wahrzunehmen.

Diskussion: Die Ausschlussdiagnostik bei Normalbefunden war relativ sicher möglich, die Zahl der falsch-positiven gering. Problematisch war die Beurteilung bei akut bedrohlichen Erkrankungen, fast die Hälfte der Erkrankungen der Patienten wurde nicht richtig diagnostiziert, in fast einem Drittel war nicht die Notwendigkeit zur sofortigen CT-Diagnostik gesehen worden und es wäre eine für den Patienten kritische Situation entstanden. Natürlich wären auch die kritischen Fälle aus dieser vorliegenden Untersuchung nicht unbedingt zu Schaden gekommen, wenn die Einzelschicht-CT als diagnostisches Verfahren durchgeführt worden wäre. Die Überwachung des Patienten bzw. der Patientin und die spätestens am Folgetag durchgeführte MRT hätte durchaus ausreichen können, um das Kind oder den/die

Jugendliche/n ausreichend diagnostisch zu versorgen, vielleicht wäre eine Diagnose (z.B. Dekompensation eines Hydrozephalus) nur etwas später gestellt worden, ohne schädliche Konsequenzen.

Schlussfolgerung: Die Einschränkung des Untersuchungsvolumens hat eine erhebliche Konsequenz für die Beurteilungsqualität und führt zu einer Verringerung der diagnostischen Leistungsfähigkeit der Schädel-CT. Bei ausgewählten Fragestellungen wie Hydrozephalus, die das Ventrikelsystem betreffen, wäre durch die Zusammenschau mit Voruntersuchungen eine Verbesserung der Diagnosesicherheit der Einzelschicht-CT denkbar. Diese Patienten haben wiederholte CT, sodass die Reduktion der Strahlenexposition wie durch das vorgeschlagene Vorgehen auf etwa 5 % der Dosis einer gesamten Schädel-CT gerade hier wünschenswert wäre.

Ob die Einzelschicht-CT für ausgewählte Fragestellungen anwendbar ist, sollte durch eine weiterführende Untersuchung mit einem prospektiven Ansatz geklärt werden. Dabei müssen die klinisch erforderlichen Informationen sowie Voruntersuchungen dem Auswerter bzw. der Auswerterin zur Verfügung gestellt werden.

5.2 Summary

Aim of the Study: To minimize radiation exposure of Computed Tomography (CT) examinations in children the adaptation of dose is reasonable. A possible alternative is a limited view study. This study was performed to find out,

1. whether it is possible to diagnose an acute neurologic disorder in childhood by means of a limited Head CT consisting of a scout view and a tomogram at the level of the Foramina Monroi. How reliable are those diagnoses?
2. How do the clinical physicians act, when being confronted to a limited view Head CT as a base for their therapeutic decision?
3. What is the radiation dose of the limited view Head CT?

Materials and Methods: 101 Patients (44 female) at the ages between 0 to 37 years, Median 7 years, with an acute neurologic disorder were examined with a conventional Head CT. A paediatrician and a pediatric radiologist diagnosed the CT examination retrospectively with all available information from the follow-up to generate a golden standard of diagnosis for the 101 cases. For this study, a scan at the level of the side ventricles was chosen and presented together with a scout view and the clinical information that was given to the initial

examination request. 16 readers with different experience (7 with high, 5 with mean and 4 with a low level of training in neuropediatric emergency radiology) attempted to pose a diagnosis, with an estimate of the diagnostic correctness for a ROC-analysis (Receiver Operating Characteristics) and had to decide, whether they wanted an immediate complete Head CT or whether a MRI (Magnetic Resonance Imaging) examination within the next day and an in-hospital observation suffices in each case. 50 of the cases were normal findings, in 31 cases there was an acute and possible life threatening situation, in 20 cases there was a not life threatening, but pathologic situation. The two most frequent diagnoses were hydrocephalus (20 cases) and intracranial bleeding (9 cases). 22 further diagnoses included 5 malformations, 5 fractures, 4 ischemias, 4 neoplasms, 3 cases of atrophy and 1 case of hygroma. ROC-Analysis gives a measure of the relation of sensitivity and specificity of the readings. Area under curve is a measure of quality of the results. An ideal reader would have an area under curve of 1.0, a random evaluation would lead to an area of 0.5.

Results: False-positive diagnoses and false-negative diagnoses were analysed. In normal cases, in the mean of the 16 readers 18 % of diagnoses were false-positive, the acute life-threatening cases were misinterpreted in 42 % of the cases, those were potentially dangerous for the patient. In the cases that were pathologic, but not life threatening, 20 % false-negative diagnoses were observed. In the mean of the readers in 13 of 31 cases of acutely sick children a critical situation could emerge, if the clinical and radiological diagnosis had been based on this single slice examination; in the mean of the 16 readers in 44 of 101 cases an immediate complete Head CT examination was held to be necessary. In the false-negative cases of the acute neurologic patients the correct indication to a Head CT was missed in 27 %. The correct diagnosis of acuity was posed in cases of clinically proved decompensation of a hydrocephalus in 61 % and in cases of intracranial bleeding in 64 %. The experience of the readers in pediatric neuroradiology did not influence the results of the readings; in the mean the most experienced readers had slightly lesser rate of correct diagnoses than the lesser experienced readers.

Radiation dose of the single slice Head CT is calculated from the sum of the dose of the scout view and the tomogram, according to the manufacturer of the CT 0.081 mGy for a five-year old child and therefore in the range of two chest x-rays; a complete Head CT has a radiation dose of approximately 2-4 mGy or the equivalent to 50 chest x-rays.

Results of the ROC-Analysis demonstrated Area under curve between 0.885 (very good reading) and 0.661. The very experienced readers scored areas of 0.787 (mean value), the

lesser experienced readers 0.799, the least experienced readers 0.778. So there were no significant differences between these groups.

Discussion: An exclusion of a pathologic state in normal cases was possible, the number of false-positive diagnoses was low. The problem was the assessment of acute life threatening situations; nearly half of those cases were not diagnosed; and in approximately one third of those cases the indications to an immediate Head CT was missed. A critical situation would have been possible for those patients. Under real conditions and an in-hospital surveillance and a MRI examination on the following day could have been sufficient for those cases. The correct diagnoses might have been delayed, but not completely missed under those circumstances (e. g., a decompensation of hydrocephalus) without harmful consequences.

Conclusion: A limited view Head CT had a considerable consequence on the diagnostic performance and lead to a diminished accuracy of the Head CT. In special conditions such as hydrocephalus, when previous examinations might be available, a better performance of the single slice Head CT is imaginable. Such patients get repeatedly Head CT examinations, therefore a reduction of the dose about 5 % of the complete Head CT dose would be desirable.

It should be determined prospectively whether a limited view Head CT with a single scan can be diagnostic in selected cases. In this study design, the readers should be aware of every clinical information and the previous examinations.

6 Literaturverzeichnis

- Ambrose J, Hounsfield G. Computerized transverse axial tomography. *Pro R Soc Med.* 1973; 66: 833-834
- Bittner RC, Rossdeutscher R. Leitfaden Radiologie. Gustav Fischer Verlag Stuttgart-Jena-New York 1996, 37
- Brenner DJ, Elliston CD, Hall EJ, Berdon W. Estimated Risk of Radiation-Induced Fatal Cancer from Pediatric CT. *AJR* 2001; 176: 289-296
- Brenner DJ. Estimating cancer risks from pediatric CT: going from the qualitative to the quantitative. *Pediatr Radiol* 2002; 32: 228-231
- Brody AS, Frush DP, Huda W, Brent RL, and the section on Radiology. Radiation Risk to Children From Computed Tomography. *Pediatrics* 2007; 120: 677-682
- Bundesamt für Strahlenschutz. Bekanntmachung der diagnostischen Referenzwerte für radiologische und Nuklearmedizinische Untersuchungen. 2001; <http://www.bfs.de/ion/medizin/referenzwerte01.pdf>
- Bundesamt für Strahlenschutz. Jahresbericht 2004 Teil IV. Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen. 2004; http://www.bfs.de/de/bfs/druck/uus/jb2004_Medizin.pdf
- Bundesärztekammer. Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik bzw. Computertomografie. *Dtsch Arztebl* 2008; 105(10): A-536
<http://www.aerzteblatt.de/v4/archiv/artikel.asp?id=59262>
- Clasey JL, Bouchard C, Teates CD, Riblett JE, Thorner MO, Hartman ML, Weltman A. The use of anthropometric and dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) measures to estimate total abdominal and abdominal visceral fat in men and women. *Obes Res* 1999; 7: 256-264
- Deutsche Gesellschaft für Kinderchirurgie. Schädel-Hirn-Trauma. 2002;
[http://www.reanitrain.de/indiv/leitlinien/Notfaelle/chirurgische%20Notfaelle/Schaedel-Hirn-Trauma/Schaedel-Hirn-Trauma%20\(SHT\)%20beim%20Kind.pdf](http://www.reanitrain.de/indiv/leitlinien/Notfaelle/chirurgische%20Notfaelle/Schaedel-Hirn-Trauma/Schaedel-Hirn-Trauma%20(SHT)%20beim%20Kind.pdf)
- Frush DP, Donnelly LF, Rosen NS. Computed Tomography and Radiation Risks: What Pediatric Health Care Providers Should Know. *Pediatrics* 2003; 112: 951-957
- Garcia-Peña P, Lucaya J. HRCT in children: technique and indications. *Eur Radiol* 2004; 14: L13-L 30
- Gentry LR, Godersky JC, Thompson B, Dunn VD. Prospective Comparative Study of Intermediate-Field MR and CT in the Evaluation of Closed Head Trauma. *AJR* 1988; 150: 673-682
- Gesellschaft für Pädiatrische Radiologie. Leitlinien Pädiatrische Radiologie. 2009; <http://www.kinder-radiologie.org/>
- Guggenmoos-Holzmann I, Wernecke KD. Medizinische Statistik. Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin-Wien 1996; 150 ff
- Hall P, Adami HO, Trichopoulos D, Pedersen NL, Laggiou P, Ekblom A, Ingvar M, Lundell M, Granath F. Effect of low doses of ionising radiation in infancy on cognitive function in adulthood: Swedish population based cohort study. *BMJ* 2004; 328: 19
- Linke G, Pfeiler M. Grundlagen und Verfahren der Röntgen-Computertomographie. In: Radiologische Diagnostik in Klinik und Praxis. Hrsg.: Frommhold W, Dihlmann W, Stender HS, Thurn P. Georg Thieme Verlag Stuttgart – New York 1987; Band I, 172
- Metz CE. ROC methodology in radiologic imaging. *Invest Radiol* 1986; 21: 720-733
- Millar C, Bissonnette B, Humphreys RP. Cerebral arteriovenous malformations in children. *Can J Anaesth* 1994; 41: 321-331

Mills DM, Tsai S, Meyer DR, Belden C. Pediatric Ophthalmic Computed Tomographic Scanning and Associated Cancer Risk. *Am J Ophthalmol* 2006; 142: 1046-1053

Moritz JD, Berthold LD, Soenksen SF, Alzen GF. Ultrasound in diagnosis of fractures in children: unnecessary harassment or useful addition to X-ray? *Ultraschall Med* 2008; 29(3): 267-274

Nakashima E, Neriishi K, Minamoto A. A reanalysis of atomic-bomb cataract data 2000-2002: a threshold analysis. *Health Phys* 2006; 90: 154 – 160

Petersen D, Voigt M. traumatische kraniozerebrale Erkrankungen. In: *Radiologische Diagnostik in Klinik und Praxis*. Hrsg.: Frommhold W, Dihlmann W, Stender HS, Thurn P. Georg Thieme Verlag Stuttgart – New York 1987; Band V, Teil 1, 584

Piepgas U, Müller J, Hagen T. Zentralnervensystem. In: *Forschung mit Röntgenstrahlen. Bilanz eines Jahrhunderts*. Hrsg.: Heuck FHW, Macherauch E. Berlin – Heidelberg: Springer-Verlag; 1995: 193

Riccabona M, Lindbichler F. Traumaradiologie beim Kind. *Radiologe* 2002; 42: 195-209

Scharitzer M, Hörmann M, Puig S, Prokop M. Aufnahmetechnik und Untersuchungsprotokolle beim pädiatrischen Notfall. *Radiologe* 2002; 42: 146 – 152

Seidell JC, Bakker CJG, van der Kooy K. Imaging techniques for measuring adipose-tissue distribution – a comparison between computed tomography and 1.5 T magnetic resonance. *Am J Clin Nutr* 1990; 51: 953-957

Shah NB, Platt SL. ALARA: ist there a cause for alarm? Reducing radiation risks from computed tomography scanning in children. *Curr Opin Pediatr* 2008; 20: 243-247

Stieve FE. Strahlenexposition, Strahlenschutz und Strahlenrisiko. In: *Radiologische Diagnostik in Klinik und Praxis*. Hrsg. Dihlmann W, Frommhold W, Stender HS, Thurn P. 7. Auflage Stuttgart – New York: Thieme-Verlag; 1987 Band I Teil 1: 301-326

Vock P. CT-Exposition beim Kinde: Geht das Erwachen der Amerikaner auch uns Europäer an? *Radiologe* 2002; 42: 697-702

Wagner BP. Das bewusste Kind. *Ther Umsch*. 2005; 62(8): 519-24

7 Erklärung

„Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Lich, den 10.12.09

A. H. Reck

8 Danksagung

Für meine Doktorarbeit schulde ich sehr vielen Menschen einen herzlichen Dank. Besonders bedanken möchte ich mich bei meinem Doktorvater, PD. Dr. Berthold, für die Themenvergabe sowie für sein Vertrauen, das er mir entgegen brachte und dass er für das Gelingen der Arbeit mit wertvollen Ratschlägen sorgte. Er gab mir mit seinem fundierten Fachwissen viele Anregungen für meine wissenschaftliche Arbeit. Ohne sein Wissen, ohne seine Ideen und seine Kritik wäre meine Doktorarbeit niemals so weit gekommen. Bei Professor Alzen, Abteilungsleiter der Kinderradiologie des Fachbereiches Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen, möchte ich mich für die Möglichkeit, die Arbeit in seiner Abteilung durchzuführen, bedanken. Ein großer Dank geht aber auch an alle Auswerterinnen und Auswerter, denn die Zusammenarbeit mit ihnen war ein Meilenstein bei der Erstellung meiner Doktorarbeit. Außerdem möchte ich mich bei Herrn Dr. Pons-Kühnemann, Statistiker des Institutes für medizinische Informatik der Justus-Liebig-Universität Gießen, für die Beratung in statistischen Fragen bedanken. Des Weiteren möchte ich mich bei meinen Eltern, Gerda Middelberg und Familie Würdemann bedanken, ohne die ein Studium und eine Doktorarbeit niemals möglich gewesen wären. Ganz herzlich möchte ich mich bei meinem Mann André Reck für die Geduld und die mentale Unterstützung sowie den Gebetsbeistand bedanken. Mein Dank gilt auch Sabrina Reck, Bettina Wurm sowie Dirk Pröpper für die Korrekturen und Vorschläge bei der Erstellung des Manuskriptes. Danke auch an meine Freunde, die mir durch stetes Nachfragen und unerschütterlichen Glauben an die Fertigstellung dieses Werkes geholfen haben.

9 Anlagen

Tabellen mit den Ergebnissen der Auswerterinnen und Auswerter (Noten und Bewertungen). Rot markiert sind die Ergebnisse des Auswerter, der drei Durchgänge ausgewertet hatte.

Tabelle 9.1: Für die Auswertungen 1 bis 19 bestimmte „Noten“ (nach dem Schlüssel aus Tabelle 2.9). Alle 101 Untersuchungen.

Auswertung (laufende Nr.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Note 1	61	48	47	48	51	63	55	66	32
Note 2	11	16	18	19	14	9	12	10	10
Note 3	9	17	10	15	13	10	6	8	23
Note 4	12	6	15	10	11	11	9	10	13
Note 5	8	14	11	9	12	8	19	7	15
c (kritisch)	15	19	16	18	14	13	17	8	14
f (falsch positiv)	6	1	10	1	9	6	11	9	14
G (gefährlich)	13	12	7	14	5	5	14	6	11
U (ungefährlich)	2	7	9	4	9	8	3	2	2
D (Überdiagnose)	6	0	9	0	9	6	8	8	14
Zahl der CT	24	28	39	32	60	39	27	49	47
Note1 %	60,40	47,52	46,53	47,52	50,50	62,38	54,46	65,35	34,41
Note2 %	10,89	15,84	17,82	18,81	13,86	8,91	11,88	9,90	10,75
Note3 %	8,91	16,83	9,90	14,85	12,87	9,90	6,93	7,92	24,73
Note4 %	11,88	5,94	14,85	9,90	10,89	10,89	7,92	9,90	13,98
Note5 %	7,92	13,86	10,89	8,91	11,88	7,92	18,81	6,93	16,13
Summe Note1-3 %	80,20	80,20	74,26	81,19	77,23	81,19	73,27	83,17	69,89

Auswertung (laufende Nr.)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Note 1	40	75	17	45	47	73	53	65	39	49
Note 2	20	6	25	10	16	5	18	8	20	19
Note 3	13	5	9	16	9	8	13	10	10	7
Note 4	8	6	10	8	6	10	5	9	7	14
Note 5	20	9	40	22	23	5	12	9	25	12
c (kritisch)	11	11	11	16	8	9	6	16	4	10
f (falsch positiv)	17	4	39	14	21	6	11	2	28	16
G (gefährlich)	8	6	6	15	3	3	5	13	2	3
U (ungefährlich)	3	5	5	1	5	6	3	3	2	7
D (Überdiagnose)	17	4	25	9	21	6	9	2	16	14
Zahl der CT	51	44	47	35	69	49	45	50	47	58
Note1 %	39,60	74,26	16,83	44,55	46,53	72,28	52,48	64,36	38,61	48,51
Note2 %	19,80	5,94	24,75	9,90	15,84	4,95	17,82	7,92	19,80	18,81
Note3 %	12,87	4,95	8,91	15,84	8,91	7,92	12,87	9,90	9,90	6,93
Note4 %	9,90	5,94	9,90	7,92	5,94	9,90	4,95	8,91	6,93	13,86
Note5 %	7,92	8,91	39,60	21,78	22,77	4,95	11,88	8,91	24,75	11,88
Summe Note1-3 %	72,28	85,15	50,50	70,30	71,29	85,15	83,17	82,18	68,32	74,26

Tabelle 9.2: Für die Auswertungen 1 bis 19 bestimmte „Noten“ (nach dem Schlüssel aus Tabelle 2.9). Nur Normalbefunde.

Auswertung (laufende Nr.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Note 1	45	40	36	44	39	46	42	43	21
Note 2	1	1	1	0	0	0	1	0	0
Note 3	2	8	7	6	5	2	2	3	13
Note 4	0	1	0	0	0	0	1	1	0
Note 5	2	0	6	0	6	2	4	3	11
c (kritisch)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f (falsch positiv)	2	1	6	0	6	2	5	4	11
G (gefährlich)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U (ungefährlich)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D (Überdiagnose)	2	0	6	0	6	2	4	4	11
Zahl der CT	3	7	10	11	31	5	8	17	24
Note1 %	90,00	80,00	72,00	88,00	78,00	92,00	84,00	86,00	42,00
Note2 %	2,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00
Note3 %	4,00	16,00	14,00	12,00	10,00	4,00	4,00	6,00	26,00
Note4 %	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	0,00
Note5 %	4,00	0,00	12,00	0,00	12,00	4,00	8,00	6,00	22,00
Summe Note1-3 %	96,00	98,00	88,00	100,00	88,00	96,00	90,00	92,00	68,00

Auswertung (laufende Nr.)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Note 1	33	48	14	33	31	46	42	47	27	41
Note 2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
Note 3	4	1	4	8	3	3	4	2	5	1
Note 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Note 5	13	0	32	9	16	1	4	1	18	6
c (kritisch)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f (falsch positiv)	13	0	32	9	16	1	4	1	18	6
G (gefährlich)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U (ungefährlich)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D (Überdiagnose)	13	0	23	6	16	1	4	1	11	6
Zahl der CT	21	12	23	12	31	10	10	25	20	18
Note1 %	66,00	96,00	28,00	66,00	62,00	92,00	84,00	94,00	54,00	82,00
Note2 %	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00
Note3 %	8,00	2,00	8,00	16,00	6,00	6,00	8,00	4,00	10,00	2,00
Note4 %	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Note5 %	26,00	0,00	64,00	18,00	32,00	2,00	8,00	2,00	36,00	12,00
Summe Note1-3 %	74,00	100,00	36,00	82,00	68,00	98,00	92,00	98,00	64,00	88,00

Tabelle 9.3: Für die Auswertungen 1 bis 19 bestimmte „Noten“ (nach dem Schlüssel aus Tabelle 2.9). 31 akut pathologische Befunde.

Auswertung (laufende Nr.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Note 1	11	5	5	2	8	11	8	14	7
Note 2	4	6	10	11	7	5	5	8	8
Note 3	2	1	0	0	2	2	1	1	0
Note 4	9	5	11	9	9	7	3	5	11
Note 5	5	14	5	9	5	6	14	3	3
c (kritisch)	15	19	16	18	14	11	17	8	14
f (falsch positiv)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G (gefährlich)	13	12	7	14	5	5	14	6	11
U (ungefährlich)	2	7	9	4	9	6	3	2	3
D (Überdiagnose)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Note1 %	35,48	16,13	16,13	6,45	25,81	35,48	25,81	45,16	22,58
Note2 %	12,90	19,35	32,26	35,48	22,58	16,13	16,13	25,81	25,81
Note3 %	6,45	3,23	0,00	0,00	6,45	6,45	3,23	3,23	0,00
Note4 %	29,03	16,13	35,48	29,03	29,03	22,58	9,68	16,13	35,48
Note5 %	16,13	45,16	16,13	29,03	16,13	19,35	45,16	9,68	9,68
Summe Note1-3 %	54,84	38,71	48,39	41,94	54,84	58,06	45,16	74,19	48,39

Auswertung (laufende Nr.)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Note 1	4	18	1	7	11	18	8	13	10	7
Note 2	14	2	17	8	11	4	15	1	15	13
Note 3	2	0	2	0	1	0	2	1	2	1
Note 4	6	3	7	6	2	5	1	9	1	6
Note 5	5	8	4	10	6	4	5	7	3	4
c (kritisch)	11	11	11	16	8	9	6	16	4	10
f (falsch positiv)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G (gefährlich)	8	6	6	15	3	3	5	13	2	3
U (ungefährlich)	3	5	5	1	5	6	1	3	2	7
D (Überdiagnose)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Note1 %	12,90	58,06	3,23	22,58	35,48	58,06	25,81	41,94	32,26	22,58
Note2 %	45,16	6,45	54,84	25,81	35,48	12,90	48,39	3,23	48,39	41,94
Note3 %	6,45	0,00	6,45	0,00	3,23	0,00	6,45	3,23	6,45	3,23
Note4 %	19,35	9,68	22,58	19,35	6,45	16,13	3,23	29,03	3,23	19,35
Note5 %	16,13	25,81	12,90	32,26	19,35	12,90	16,13	22,58	9,68	12,90
Summe Note1-3 %	74,00	100,00	36,00	82,00	68,00	98,00	92,00	98,00	64,00	88,00

Tabelle 9.4: Für die Auswertungen 1 bis 19 bestimmte „Noten“ (nach dem Schlüssel aus Tabelle 2.9). 20 pathologische Befunde ohne akute Bedrohlichkeit.

Auswertung (laufende Nr.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Note 1	5	3	6	2	4	6	5	9	4
Note 2	6	9	7	8	7	4	6	2	2
Note 3	5	8	3	9	6	6	3	4	10
Note 4	3	0	4	1	2	4	5	4	2
Note 5	1	0	0	0	1	0	1	1	1
c (kritisch)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f (falsch positiv)	4	0	4	1	3	4	6	5	3
G (gefährlich)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U (ungefährlich)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D (Überdiagnose)	4	0	3	0	3	4	4	4	3
Note1 %	25,00	15,00	30,00	10,00	20,00	30,00	25,00	45,00	20,00
Note2 %	30,00	45,00	35,00	40,00	35,00	20,00	30,00	10,00	10,00
Note3 %	25,00	40,00	15,00	45,00	30,00	30,00	15,00	20,00	50,00
Note4 %	15,00	0,00	20,00	5,00	10,00	20,00	25,00	20,00	10,00
Note5 %	5,00	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	5,00	5,00	5,00
Summe Note1-3 %	80,00	100,00	80,00	95,00	85,00	80,00	70,00	75,00	80,00

Auswertung (laufende Nr.)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Note 1	3	9	2	5	5	9	3	5	2	1
Note 2	6	3	8	2	5	1	3	7	5	4
Note 3	7	4	3	8	5	5	7	7	3	5
Note 4	2	3	3	2	4	5	4	0	6	8
Note 5	2	1	4	3	1	0	3	1	4	2
c (kritisch)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f (falsch positiv)	4	4	7	5	5	5	7	1	10	10
G (gefährlich)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U (ungefährlich)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D (Überdiagnose)	4	4	2	3	5	5	7	1	5	8
Note1 %	15,00	45,00	10,00	25,00	25,00	45,00	15,00	25,00	10,00	5,00
Note2 %	30,00	15,00	40,00	10,00	25,00	5,00	15,00	35,00	25,00	20,00
Note3 %	35,00	20,00	15,00	40,00	25,00	25,00	35,00	35,00	15,00	25,00
Note4 %	10,00	15,00	15,00	10,00	20,00	25,00	20,00	0,00	30,00	40,00
Note5 %	10,00	5,00	20,00	15,00	5,00	0,00	15,00	5,00	20,00	10,00
Summe Note1-3 %	80,00	80,00	65,00	75,00	75,00	75,00	65,00	95,00	50,00	50,00

Tabelle 9.5: Für die Auswertungen 1 bis 19 bestimmte „Noten“ (nach dem Schlüssel aus Tabelle 2.9). 20 Patienten mit der Diagnose Hydrozephalus.

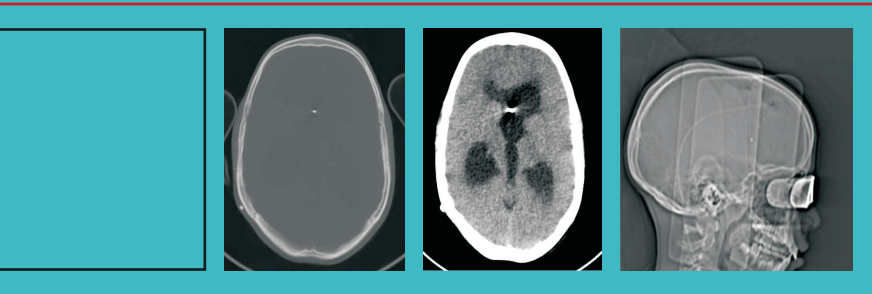
Auswertung (laufende Nr.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Note 1	8	4	5	2	1	6	6	13	3
Note 2	3	6	8	10	10	5	3	1	7
Note 3	0	1	0	0	1	0	0	0	3
Note 4	8	2	7	8	8	6	3	6	5
Note 5	1	7	0	0	0	3	8	0	2
c (kritisch)	6	9	6	7	8	5	7	5	4
f (falsch positiv)	3	0	1	1	0	4	2	1	3
G (gefährlich)	6	4	3	6	5	3	9	4	3
U (ungefährlich)	0	5	3	1	3	2	0	1	0
D (Überdiagnose)	3	0	0	0	0	4	0	1	3
Note1 %	40,00	20,00	25,00	10,00	5,00	30,00	30,00	65,00	15,00
Note2 %	15,00	30,00	40,00	50,00	50,00	25,00	15,00	5,00	35,00
Note3 %	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	15,00
Note4 %	40,00	10,00	35,00	40,00	40,00	30,00	15,00	30,00	25,00
Note5 %	5,00	35,00	0,00	0,00	0,00	15,00	40,00	0,00	10,00
Summe Note1-3 %	55,00	55,00	65,00	60,00	60,00	55,00	45,00	70,00	65,00

Auswertung (laufende Nr.)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Note 1	3	14	1	1	9	14	5	6	4	5
Note 2	8	1	12	6	6	0	8	5	12	5
Note 3	2	0	1	4	0	0	1	0	0	0
Note 4	3	3	5	4	5	6	5	7	3	10
Note 5	4	2	1	5	0	0	1	2	1	0
c (kritisch)	5	5	5	6	2	5	1	9	0	6
f (falsch positiv)	2	0	1	3	3	1	5	0	4	4
G (gefährlich)	3	4	1	5	2	2	1	9	0	2
U (ungefährlich)	2	1	4	1	0	3	2	0	0	4
D (Überdiagnose)	2	0	0	3	3	1	3	0	1	3
Note1 %	15,00	70,00	5,00	5,00	45,00	70,00	25,00	30,00	20,00	25,00
Note2 %	40,00	5,00	60,00	30,00	30,00	0,00	40,00	25,00	60,00	25,00
Note3 %	10,00	0,00	5,00	20,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00
Note4 %	15,00	15,00	25,00	20,00	25,00	30,00	25,00	35,00	15,00	50,00
Note5 %	20,00	10,00	5,00	25,00	0,00	0,00	5,00	10,00	5,00	0,00
Summe Note1-3 %	65,00	75,00	70,00	55,00	75,00	70,00	70,00	55,00	80,00	50,00

Tabelle 9.6: Für die Auswertungen 1 bis 19 bestimmte „Noten“ (nach dem Schlüssel aus Tabelle 2.9). 9 Patienten mit der Diagnose Blutung.

Auswertung (laufende Nr.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Note 1	4	2	0	0	3	3	2	4	3
Note 2	2	3	4	4	3	3	3	4	0
Note 3	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Note 4	0	1	4	1	2	2	2	1	4
Note 5	2	3	1	4	1	1	2	0	0
c (kritisch)	3	4	5	5	2	3	3	0	4
f (falsch positiv)	0	0	0	0	1	0	1	1	0
G (gefährlich)	3	3	1	4	0	0	3	0	4
U (ungefährlich)	0	1	4	1	2	3	0	0	0
D (Überdiagnose)	0	0	0	0	1	0	1	1	0
Note1 %	44,44	22,22	0,00	0,00	33,33	33,33	22,22	44,44	33,33
Note2 %	22,22	33,33	44,44	44,44	33,33	33,33	33,33	44,44	0,00
Note3 %	11,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,11
Note4 %	0,00	11,11	44,44	11,11	22,22	22,22	22,22	11,11	44,44
Note5 %	22,22	33,33	11,11	44,44	11,11	11,11	22,22	0,00	0,00
Summe Note1-3 %	77,78	55,56	44,44	44,44	66,67	66,67	55,56	88,89	44,44

Auswertung (laufende Nr.)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Note 1	1	5	0	3	2	5	2	4	2	1
Note 2	5	1	6	1	5	3	6	2	5	6
Note 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Note 4	2	1	2	3	0	1	0	2	2	1
Note 5	1	0	1	2	2	0	5	1	0	1
c (kritisch)	3	0	3	4	2	0	1	3	1	1
f (falsch positiv)	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1
G (gefährlich)	3	0	2	4	0	0	1	1	0	0
U (ungefährlich)	0	0	1	0	2	0	0	2	1	1
D (Überdiagnose)	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
Note1 %	11,11	55,56	0,00	33,33	22,22	55,56	22,22	44,44	22,22	11,11
Note2 %	55,56	11,11	66,67	11,11	55,56	33,33	66,67	22,22	55,56	66,67
Note3 %	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Note4 %	22,22	11,11	22,22	33,33	0,00	11,11	0,00	22,22	22,22	11,11
Note5 %	11,11	0,00	11,11	22,22	22,22	0,00	55,56	11,11	0,00	11,11
Summe Note1-3 %	66,67	66,67	66,67	44,44	77,78	88,89	88,89	66,67	77,78	77,78



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890
redaktion@doktorverlag.de
www.doktorverlag.de

ISBN: 978-3-8359-5525-7



9 783835 955257